



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Mauriceia Medeiros

ESTUDO DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO COM RESÍDUO DE SCHEELITA

**Natal
2016**

Mauriceia Medeiros

**ESTUDO DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO COM RESÍDUO DE
SCHEELITA**

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-graduação em Engenharia Civil, da
Universidade Federal do Rio Grande do Norte,
como requisito à obtenção do título de Mestra em
Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Andreza Kelly Costa Nóbrega

Natal
2016

Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN
Sistema de Bibliotecas – SISBI
Catalogação da Publicação na Fonte - Biblioteca Central Zila Mamede

Medeiros, Mauriceia.

Estudo de argamassas de revestimento com resíduo de scheelita / Mauriceia Medeiros. - 2016.
75 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Natal, RN, 2017.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Andreza Kelly Costa Nóbrega.

1. Argamassa de revestimento - Dissertação. 2. Scheelita - Dissertação. 3. Scheelita - Resíduo - Dissertação. I. Nóbrega, Andreza Kelly Costa. II. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 691.53

MAURICEIA MEDEIROS

**ESTUDO DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO COM RESÍDUO DE
SCHEELITA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação, em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito à obtenção do título de Mestra em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Andreza Kelly Costa Nóbrega – Orientadora

Prof^a. Dr^a. Maria das Vitórias Vieira Almeida de Sá – Examinadora Interna

Prof. Dr. Enio Fernandes Amorim – Examinador Externo

Natal, 19 de dezembro de 2016.

ESTUDO DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO COM RESÍDUO DE SCHEELITA

Mauriceia Medeiros

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Andreza Kelly Costa Nóbrega

RESUMO

O estado do Rio Grande do Norte possui grande concentração de scheelita, principal fonte de Tungstênio, elemento químico importante na produção em diversos segmentos industriais. Ao extrair esse material do mineral bruto, toneladas de resíduos são geradas e estocadas no meio ambiente. Com isso, este trabalho tem como objetivo analisar o uso do resíduo de scheelita em substituição a areia na formulação de argamassas de revestimento. Foram coletadas amostras do resíduo da scheelita na mina Brejuí, Município de Currais Novos/RN, e após sua caracterização inicial, observou-se a aplicação do resíduo grosso nas argamassas em estudo. Foram preparadas argamassas de traços, 1:1:6 (cimento:cal:areia) e 1:3 (cimento:areia), ambos em volume, com percentuais de 0%, 25%, 50%, 75% e 100% de substituição da areia pelo resíduo grosso de scheelita. Utilizou-se o cimento Portland CP II-Z 32 e a cal hidratada CH-I, com fator água/cimento entre 0,16 e 0,18 para uma consistência de 260 ± 5 mm. Posteriormente as argamassas foram analisadas no estado fresco através dos ensaios de consistência, densidade de massa, retenção de água e teor de ar incorporado e no estado endurecido através dos ensaios de resistência à compressão e à tração na flexão, densidade de massa, absorção de água por imersão, absorção de água por capilaridade e módulo de elasticidade dinâmico. Os experimentos de caracterização inicial do resíduo mostraram que o resíduo natural grosso apresenta uma distribuição granulométrica muito próxima da areia natural, possuindo uma quantidade maior de finos e uma massa específica superior a areia natural, o que acarretou em melhoria nas resistências mecânicas e módulos de elasticidade dinâmicos. No estado fresco, as argamassas apresentaram uma melhoria na retenção de água, possibilitando maior retenção de água de amassamento. A densidade de massa apresentou resultados

maiores (cerca de 5% maior) e o teor de ar incorporado, menores (cerca de 2% menor) em relação à argamassa de referência, originando argamassas mais densas e com menor trabalhabilidade, compensada devido o resíduo natural grosso possuir maior teor de finos que a areia. No estado endurecido, as resistências mecânicas registraram resultados maiores. Sendo os melhores resultados para as argamassas com 100% de substituição do agregado natural pelo resíduo e traço de 1:3. A densidade de massa no estado endurecido manteve o padrão da densidade de massa no estado fresco. E a absorção de água tanto por imersão, quanto por capilaridade, foram predominantemente maiores que a argamassa de referência. Desta forma, diante dos experimentos realizados, é possível afirmar que o resíduo proveniente da extração da scheelita é apropriado para utilização na fabricação de argamassas de revestimento convencionais.

Palavras-chave: Argamassa de revestimento; resíduo; scheelita.

STUDY OF COATING MORTARS WITH RESIDUE SCHEELITE

Mauriceia Medeiros

Adviser: Prof^a. Dr^a. Andreza Kelly Costa Nóbrega

ABSTRACT

The state of Rio Grande do Norte has a large concentration of scheelite, the main source of tungsten, an important chemical element for production in various industries. When extracting the raw mineral material, tons of residue are generated and lunge in the environment. This work aims to analyze the use of this residue as a substitute for sand in the formulation of coating mortars. Scheelite residue samples were collected in Brejuí mine, Currais Novos/RN, and after its initial characterization, it was observed the application of the thick residue in the mortars in study. Were analyzed mixing mortars by 1:1:6 (cement:lime:sand) and 1:3 (cement:sand), both in volume with percentages of 0%, 25%, 50%, 75% and 100% of the sand replaced by scheelite thick residue. It was used Portland cement CP II-Z 32 and CH-I hydrated lime with ratio water/cement between 0.18 to 0.16 and a consistency of 260 ± 5 mm. Subsequently, the mortars were analyzed in the fresh state through the consistency testing, bulk density, water retention and incorporated air content and in the hardened state by the compressive strength test and tensile strength in bending, bulk density, water absorption by immersion, water absorption by capillary and dynamic modulus of elasticity. The experiments of initial characterization of the residue showed that the natural thick residue has a granulometric distribution very close to the natural sand, has a larger amount of fines and a specific mass higher than natural sand, which resulted to an improvement in mechanical resistance and dynamic modulus of elasticity. X-ray fluorescence (XRF) and x-ray diffraction (XRD) analyzes indicated a pozzolanic propensity of the scheelite residue, but the minimum parameters according to NBR 12653 (2014) to be classified as pozzolanic material were not achieved. In the fresh state, the mortars have improved water retention, allowing greater retention of kneading water. The bulk density presented higher results (about 5% higher) and the incorporated air content, smaller (about 2% lower)

in relation to the reference mortar, resulting in dense mortars with less workability, compensated because the natural thick residue had a higher content of fines than sand. In the hardened state, the mechanical resistances recorded higher results. The best results for mortars with 100% replacement of the natural aggregate by residue and trace of 1:3. The bulk density in the hardened state kept the bulk density pattern fresh. And the water absorption by both immersion and capillarity were predominantly larger than the reference mortar. In this way, it is possible to affirm that the residue from the extraction of the scheelite is suitable for use in the manufacture of conventional mortars.

Key-words: Coating mortars; residue; scheelite.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE TABELAS.....	xi
SIGLAS E ABREVIATURAS.....	xii
1 Introdução.....	13
1.1 Objetivo geral.....	14
1.1.1 Objetivos específicos.....	14
2 Revisão da Literatura.....	15
2.1 Contextualização da mineração: América Latina e Brasil.....	15
2.2 Contextualização da mineração: Rio Grande do Norte.....	15
2.3 Scheelita.....	16
2.4 Resíduos em materiais de construção.....	21
2.4.1 Adições minerais.....	21
2.4.2 Materiais inertes.....	22
2.5 Argamassas.....	23
2.5.1 Propriedades das argamassas.....	27
2.5.2 Argamassas produzidas com resíduos.....	34
3 Metodologia Experimental.....	45
3.1 Coleta do resíduo oriundo da produção de scheelita.....	46
3.2 Caracterização dos materiais para a produção das argamassas.....	46
3.2.1 Distribuição granulométrica do resíduo e da areia.....	46
3.2.2 Fluorescência de raios-X (FRX) do resíduo.....	47
3.2.3 Difração de raios-X (DRX) do resíduo.....	47
3.2.4 Ensaio de massa unitária do resíduo e da areia.....	47
3.2.5 Ensaio de massa específica do resíduo e da areia.....	48
3.2.6 Verificação da pozolanicidade do resíduo.....	48
3.3 Formulação das argamassas.....	50
3.4 Ensaaios das argamassas no estado fresco.....	53
3.4.1 Ensaio de consistência das argamassas.....	53
3.4.2 Densidade de massa e Teor de ar incorporado.....	53

3.4.3 Retenção de água das argamassas.....	54
3.5 Ensaios das argamassas no estado endurecido.....	54
3.5.1 Resistência à compressão e à tração na flexão.....	54
3.5.2 Densidade de massa no estado endurecido.....	54
3.5.3 Absorção de água por imersão e Índice de vazios.....	54
3.5.4 Absorção de água por capilaridade e Coeficiente de capilaridade..	55
3.5.5 Módulo de elasticidade dinâmico.....	55
4 Resultados e Discussões.....	56
4.1 Ensaios preliminares de caracterização dos materiais.....	56
4.1.1 Distribuição granulométrica do resíduo e da areia.....	56
4.1.2 Fluorescência de raios-X (FRX) do resíduo.....	58
4.1.3 Difração de raios-X (DRX) do resíduo.....	59
4.1.4 Ensaio de massa unitária e massa específica.....	60
4.1.5 Verificação da pozolanicidade do resíduo.....	61
4.2 Ensaios das argamassas no estado fresco.....	62
4.2.1 Ensaio de consistência das argamassas.....	62
4.2.2 Densidade de massa e Teor de ar incorporado.....	62
4.2.3 Retenção de água das argamassas.....	65
4.3 Ensaios das argamassas no estado endurecido.....	66
4.3.1 Resistência à compressão aos 7 e 28 dias.....	66
4.3.2 Resistência à tração na flexão aos 7 e 28 dias.....	68
4.3.3 Densidade de massa no estado endurecido.....	70
4.3.4 Absorção de água por imersão e Índice de vazios.....	72
4.3.5 Absorção de água por capilaridade e Coeficiente de capilaridade..	74
4.3.6 Módulo de elasticidade dinâmico.....	76
5 Conclusão.....	79
6 Sugestões para trabalhos futuros.....	81
7 Referências.....	82

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Parte da rocha de scheelita.....	15
Figura 2.2 – Mesas vibratórias do processo de beneficiamento da scheelita.....	17
Figura 2.3 – Divisão do material inicial posto na mesa vibratória.....	18
Figura 2.4 – Resumo esquemático do processo de beneficiamento da scheelita...	19
Figura 2.5 – Componentes da argamassa conforme sua consistência.....	29
Figura 2.6 – Influência da distribuição granulométrica na retração.....	31
Figura 3.1 – Fluxograma com as etapas da pesquisa.....	44
Figura 3.2(a) – Resíduo Grosso.....	45
Figura 3.2(b) – Resíduo Fino.....	45
Figura 4.1 – Curva de distribuição granulométrica dos agregados.....	56
Figura 4.2 – Resultado da Difração de raios-X (DRX) do resíduo fino.....	58
Figura 4.3 – Resultado da Difração de raios-X (DRX) do resíduo grosso.....	58
Figura 4.4 – Resultado do ensaio de densidade de massa no estado fresco.....	62
Figura 4.5 – Resultado do ensaio de teor de ar incorporado no estado fresco.....	62
Figura 4.6 – Resultado do ensaio de Retenção de água da argamassa.....	64
Figura 4.7 – Resultado do ensaio de Resistência à Compressão para o traço 1:1:6.....	66
Figura 4.8 – Resultado do ensaio de Resistência à Compressão para o traço 1:3...	66
Figura 4.9 – Resultado do ensaio de Resistência à Tração para o traço 1:1:6.....	68
Figura 4.10 – Resultado do ensaio de Resistência à Tração para o traço 1:3.....	68
Figura 4.11 – Resultado do ensaio de Densidade de massa no estado endurecido aos 28 dias.....	70
Figura 4.12 – Resultado do ensaio de Índice de vazios aos 28 dias.....	72
Figura 4.13 – Resultado do ensaio de Absorção de água por imersão aos 28 dias..	72
Figura 4.14 – Resultado do ensaio de Absorção de água por capilaridade aos 28 dias.....	73
Figura 4.15 – Resultado do Módulo de Elasticidade Dinâmico aos 28 dias.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Classificação das argamassas segundo suas funções na construção.	25
Tabela 2.2 – Classificação das argamassas.....	25
Tabela 2.3 – Propriedades das argamassas para as diferentes funções.....	27
Tabela 2.4 – Usos indicados das argamassas de acordo com sua faixa de densidade de massa.....	30
Tabela 3.1 – Moagem dos resíduos.....	48
Tabela 3.2 – Caracterização da Cal CH-I.....	50
Tabela 3.3 – Caracterização química do cimento CP II-Z 32.....	51
Tabela 3.4 – Caracterização física do cimento CP II-Z 32.....	51
Tabela 3.5 – Traços utilizados na pesquisa.....	52
Tabela 4.1 – Caracterização granulométrica.....	55
Tabela 4.2 – Resultado da Fluorescência de raios-X (FRX) do resíduo.....	57
Tabela 4.3 – Resultados sobre Massa Unitária e Específica dos materiais.....	59
Tabela 4.4 – Resultado do Teste de Pozolanicidade do resíduo com a cal.....	60
Tabela 4.5 – Resultado do Índice de Desempenho do resíduo com o cimento.....	60
Tabela 4.6 – Índices de consistência das argamassas.....	61
Tabela 4.7 – Resultado do ensaio de Densidade de massa e Teor de ar incorporado.....	62
Tabela 4.8 – Resultado do ensaio de Retenção de água da argamassa.....	64
Tabela 4.9 – Resultado do ensaio de Resistência à Compressão da argamassa.....	65
Tabela 4.10 – Resultado do ensaio de Resistência à Tração da argamassa.....	67
Tabela 4.11 – Resultado do ensaio de Densidade de massa no estado endurecido aos 28 dias.....	69
Tabela 4.12 – Resultado do ensaio de Absorção de água por imersão e Índice de vazios aos 28 dias.....	71
Tabela 4.13 – Resultado do ensaio de Absorção de água por capilaridade aos 28 dias.....	73
Tabela 4.14 – Resultado do Módulo de Elasticidade Dinâmico aos 28 dias.....	75

SIGLAS E ABREVIATURAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CH	Cal hidratada
DRX	Difração por raios X
FRX	Fluorescência de raios X
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
MPa	Megapascal
NBR	Norma Brasileira
RN	Rio Grande do Norte

1 Introdução

A América Latina vive um período próspero no setor da mineração, alavancada pelas demandas da China por cobre, carvão e outros minérios. No Brasil, por exemplo, a receita gerada pela mineração alcançou US\$67 bilhões, ou 3% do PIB em 2014 (FAJARDO, 2015).

O Brasil é um país rico em jazidas minerais e grande produtor de minérios. Em 2011, a produção nacional abrangeu setenta substâncias. O país se destaca por apresentar uma grande porcentagem de bens minerais em relação a produção mundial, ou por deter uma grande porcentagem das reservas mundiais (IBRAM, 2014).

O município de Currais Novos está localizado na região do Semiárido Norte-rio-grandense, onde existe a Mineração Tomaz Salustino (Mina Brejuí) que é considerada a maior mineradora de scheelita da América do Sul. A maior concentração deste minério, scheelita, no Brasil, encontra-se no Rio Grande do Norte, entre os municípios de Bodó, Lajes, Santana dos Matos e alguns municípios da Região Seridó, principalmente na cidade de Currais Novos, onde se encontra a Mina Brejuí que realiza a exploração do minério, tendo como o principal destino o mercado exterior (MINERAÇÃO TOMAZ SALUSTINO, 2015).

O processo de beneficiamento da scheelita é um processo rústico, abrangendo diferentes etapas, onde praticamente não houve alteração desde a década de 40, apenas poucos equipamentos foram modernizados. Neste processo, aproximadamente 99,2% do material que é extraído e tratado na indústria de beneficiamento da scheelita é depositado inadequadamente no meio ambiente, sendo apenas 0,8% do total extraído de material representativo, ou seja, de scheelita (GERAB, 2014).

Cerca de 50m³ de resíduos são produzidos diariamente somente na Mina Brejuí, totalizando aproximadamente 18.000m³ de resíduo por ano. Isso se dá porque somente a scheelita é de interesse para a Mina, o que sobra é resíduo do mineral. Estima-se que exista um acúmulo de resíduo do beneficiamento da scheelita na ordem 4,5 milhões de toneladas do resíduo grosso (diâmetro médio de 0,3mm) e 2,5 milhões do resíduo fino (diâmetro médio de 0,075mm). Esta grande quantidade de resíduo gerado constitui um grande problema ambiental, pois pilhas e

pilhas deste resíduo são deixadas sobre o solo, alterando a paisagem natural e gerando impactos ambientais (PAIVA, 2013).

A busca pela melhoria dos materiais de construção, alterando as propriedades destes materiais, é um tema recorrente nos dias atuais. Tentar substituir materiais utilizados na construção civil por materiais oriundos de resíduos industriais, como por exemplo, o resíduo do minério da scheelita constitui uma forma de tentar promover melhorias nas propriedades dos novos materiais aplicados, bem como promover um benefício ambiental à medida que impede a deposição deste resíduo de forma inadequada no meio ambiente.

Este estudo tem grande relevância principalmente para o meio ambiente, pois constitui uma alternativa para utilização do resíduo da scheelita.

1.1 Objetivo geral

Avaliar o comportamento no estado fresco e endurecido de argamassas de revestimento com a incorporação do resíduo da scheelita em substituição à areia natural.

1.1.1 Objetivos específicos

- Analisar as características físicas e químicas do resíduo da scheelita.
- Avaliar as propriedades da argamassa com substituição parcial e total do agregado por resíduo de scheelita.
- Contribuir com a comunidade técnica para um melhor conhecimento das argamassas de revestimento produzidas com o resíduo da scheelita.
- Colaborar com a sustentabilidade ambiental, viabilizando uma alternativa de utilização para o resíduo da mina.

2 Revisão da Literatura

2.1 Contextualização da mineração: América Latina e Brasil

Nos últimos tempos, a América Latina tem focado a atenção mundial para sua produção mineral, recebendo 27% do total de investimentos em exploração, segundo o Banco Mundial. O órgão afirma que um só país, o Chile, recebeu dividendos da mineração da ordem de US\$41 bilhões (R\$ 155,8 bilhões) em 2011, ou 19% de seu Produto Interno Bruto (PIB). O Peru recebeu US\$17 bilhões e a Bolívia, US\$ 1,3 bilhão. No Brasil, por exemplo, a receita gerada pela mineração alcançou US\$67 bilhões, ou 3% do PIB. A expectativa é que os investimentos continuem até pelo menos 2020, é o que o Banco Mundial espera mesmo com esta desaceleração na economia (FAJARDO, 2015).

O Brasil é um país rico em jazidas minerais e grande produtor de minérios. O país se destaca por apresentar uma grande porcentagem de bens minerais em relação a produção mundial, ou por deter uma grande porcentagem das reservas mundiais. As reservas de Nióbio pertencentes ao Brasil, por exemplo, perfazem um total de 97,6% do total existente em todo o planeta. No caso do Ferro, o país possui 17,4% das reservas mundiais. Reservas nacionais de minerais como Tântalo, Estanho, Níquel e Magnesita também possuem uma grande representatividade com relação às reservas mundiais (IBRAM, 2014).

No que diz respeito à exportação de bens minerais, o Brasil apresenta um importante papel no cenário global, pois é um dos maiores exportadores de diversos bens minerais, dentre eles nióbio, minério de ferro, manganês, tantalita, grafite, bauxita e rochas ornamentais. É, também, autossuficiente em vários outros. Alguns dados do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, referentes à distribuição das exportações e importações brasileiras para 2011 revelaram que a exportação de bens minerais constitui mais que o dobro do percentual das importações minerais (IBRAM, 2014).

2.2 Contextualização da mineração: Rio Grande do Norte

O município de Currais Novos está localizado na região do Semiárido Nordeste-grandense, onde existe a Mineração Tomaz Salustino (Mina Brejuí) que é considerada a maior mineradora de scheelita da América do Sul. Este minério tem

um papel muito importante para o estado e para o país. Foi descoberto casualmente por um vaqueiro nas propriedades de terra do Desembargador Tomaz Salustino. E após análise, constatou-se em 1943, que se tratava da scheelita, o minério do qual se extrai o Tungstênio, metal que estava sendo amplamente usado nas indústrias metalúrgicas na época. A maior concentração deste minério, scheelita, no Brasil encontra-se no Rio Grande do Norte, entre os municípios de Bodó, Lajes, Santana dos Matos e alguns municípios da Região Seridó, principalmente na cidade de Currais Novos (MINERAÇÃO TOMAZ SALUSTINO, 2015).

O crescimento da mineração na região através da extração da scheelita gera desenvolvimento não só para o município como também para o estado, à medida que movimenta a economia e gera empregos, além de crescimento de infraestrutura local e atração para novos investimentos.

2.3 Scheelita

A scheelita é um mineral composto de Tungstato de Cálcio, cuja fórmula química é CaWO_4 , e constitui a importante fonte de Tungstênio (W); um elemento químico não ferroso que apresenta alta densidade, alto ponto de fusão, superior a 4.500°C e boa condutividade elétrica. O Tungstênio é de grande importância para as indústrias metalúrgica, elétrica, mecânica, aeroespacial, bélica e petrolífera para a produção de diversos materiais desde pontas de canetas esferográficas até metralhadoras. É possível observar uma pedra scheelita na Figura 2.1 (MINERAÇÃO TOMAZ SALUSTINO, 2015).



Figura 2.1 – Parte da rocha de scheelita.
Fonte: Autoria própria, 2015.

O processo de beneficiamento da scheelita é um processo rústico, que não teve praticamente nenhuma alteração desde a década de 40. O beneficiamento é realizado por equipamentos que trabalham por processos gravimétricos, dentre os quais, os mais importantes são as mesas vibratórias e os jigues. Cerca de 0,8% de todo o material que é extraído na mina é de scheelita, o restante resulta em rejeito que é depositado no meio ambiente (GERAB, 2014).

O início do processo de extração e beneficiamento da scheelita se dá com as detonações de explosivos, no interior da mina. Os fragmentos das rochas são levados através de caminhões até o topo do engenho, e lá são colocados em uma grelha para filtrar os blocos de rochas que ainda estão muito grandes. Após serem filtrados pela grelha, o material passante é levado até o britador através de esteiras e os blocos de rochas que não passaram pela grelha são fragmentados manualmente com o uso de marteletes até atingirem um tamanho menor que passe pela grelha e não venha a causar problemas no britador. Destes blocos maiores que não passaram inicialmente pela grelha, alguns deles são muito duros e não são quebráveis manualmente com o martelete, então estes são encaminhados a um local para descarte (GERAB, 2014).

O britador tem a função de quebrar estas partes passantes pela grelha em partes ainda menores. Após serem reduzidos de tamanho esses fragmentos de rochas são transferidos para as peneiras vibratórias, nas quais serão separadas as partículas de granulometria menor que são as partículas arenosas, das pedras que retornarão ao britador, até atingirem um tamanho passante pelas peneiras vibratórias. Todo esse processo consiste na redução de um bloco de rocha até a granulometria de uma partícula arenosa. Os materiais oriundos das peneiras vibratórias são depositados em um silo azul, a fim de serem estocados (GERAB, 2014).

O material é retirado do silo onde estava estocado e através de esteiras é direcionado novamente para as peneiras vibratórias. Após esta etapa, o material peneirado é conduzido para o moinho de martelo, em seguida é transferido para uma tubulação em direção ao jigue. O processo de jigagem promove uma separação hidráulica. Ocorrem repetidas expansões e contrações verticais de um leito de partículas pelo movimento de pulsação da água. Como resultado, tem-se a

separação das partículas em camadas, de densidades diferentes, na qual as partículas de maior densidade se depositam no fundo (SAMPAIO; TAVARES, 2005).

A scheelita fica decantada no fundo do jigge e é coletada por um orifício na parte inferior do equipamento. A mistura então segue em direção às mesas vibratórias para promover a separação da mesma. Várias mesas estão dispostas no local do beneficiamento para receber a mistura que contem scheelita oriunda do jigge. As mesas de vibratórias são formadas por uma superfície plana, de formato retangular, chamada de deque e a água de lavagem é distribuída pelo deque junto à alimentação, formando uma película que escoar perpendicularmente aos rifles como mostra a Figura 2.2.



Figura 2.2 – Mesas vibratórias do processo de beneficiamento da scheelita.
Fonte: Autoria própria, 2015.

O material é distribuído em toda a dimensão da mesa vibratória, devido às agitações oriundas das oscilações e do escoamento da água de lavagem. Este movimento resulta na divisão do material inicial posto na mesa vibratória em basicamente três materiais distintos como mostra a Figura 2.3.

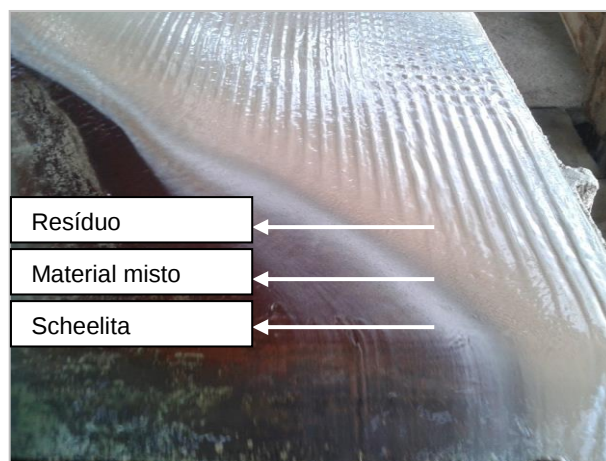


Figura 2.3 – Divisão do material inicial posto na mesa vibratória.
Fonte: Autoria própria, 2015.

O material de cor branca é a scheelita propriamente dita; o material ao lado da scheelita é chamado de material misto e é composto por scheelita mais resíduos e posteriormente será reaproveitado; e a terceira parcela de material é o resíduo do processamento, este resíduo será descartado, pois é um resíduo mais grosso e de granulometria arenosa. Este resíduo é o material de estudo deste trabalho.

A scheelita (o material de cor branca) e o material misto são capturados ao cair das mesas vibratórias por calhas específicas para cada um dos materiais. O material misto capturado é transportado ao “heliconde” (depósito em formato de cone) e em seguida, é levado a novas mesas vibratórias de concentração (denominadas mesas de retorno), localizados em um nível topográfico inferior ao das mesas de concentração. Uma nova porção de scheelita é captada pelo processo vibratório das mesas de retorno. O processo se repete até se obter o mínimo desperdício possível do minério, o que ocorre quando se esgota a obtenção do material de cor branca, a scheelita (GERAB, 2014).

Após esgotada a obtenção de scheelita do material misto, então ele é transferido para um equipamento que separa as partículas grossas da lama (partículas finas e água). O resíduo mais grosso e granular é depositado a céu aberto. A “lama” separada do material granular é transferida para um reservatório, onde permanece em repouso, e as partículas muito finas se depositam ao fundo do reservatório e então a água vai perdendo sua turbidez para ser reaproveitada da mesma forma que já foi utilizada nas mesas vibratórias (GERAB, 2014).

A lama da qual se retirou grande parte da água para reaproveitamento é depositada também a céu aberto. Este material resultante da lama é seco nas

são produzidos diariamente somente na Mina Brejuí, totalizando aproximadamente 18.000m³ de resíduo por ano. Isso se dá porque somente a scheelita é de interesse para a Mina, o que sobra é resíduo do mineral. Estima-se que exista um acúmulo de resíduo do beneficiamento da scheelita na ordem 4,5 milhões de toneladas do resíduo grosso e 2,5 milhões do resíduo fino. Esta grande quantidade de resíduo gerado constitui um grande problema ambiental, pois pilhas e pilhas deste resíduo são deixadas ao solo, alterando a paisagem natural (PAIVA, 2013).

2.4 Resíduos em materiais de construção

2.4.1 Adições minerais

Pesquisas a respeito de novas pozolanas de baixo custo, principalmente a partir de subprodutos industriais, têm sido intensificadas, visto que a substituição de parte do cimento Portland por estes materiais agregam valor aos resíduos que seriam depositados na natureza gerando impactos negativos e também reduz o consumo de cimento que constitui uma problemática ambiental provocada pela sua produção (VIEIRA, 2005).

As adições minerais pozolânicas atuam nos materiais cimentícios melhorando suas propriedades no estado fresco e endurecido, à medida que minimizam efeitos da exsudação e segregação, melhorando a coesão da mistura, e consequentemente sua resistência a compressão não só devido ao efeito químico, mas também devido ao efeito físico, pois estas partículas com finura elevada promovem o preenchimento dos vazios na pasta, o que denomina-se, efeito microfiller (ANJOS, 2009).

Estudos sobre a mistura de cimento Portland comum a cinzas volantes para avaliar sua influência sobre a corrosão de armaduras confirmam o papel das adições minerais em retardar a penetração de cloreto (ANDRADE; BUJÁK, 2013). Estudos com o pó de vidro em materiais cimentícios, afirmam que o mesmo pode ser considerado um material pozolânico e seu uso como substituto de cimento na argamassa, em algumas proporções, melhora a resistência à penetração de cloretos e sua resistência a sulfatos, sem comprometer a resistência mecânica (MATOS; SOUSA-COUTINHO, 2012). O uso de cinzas de madeira como material de substituição parcial do cimento na produção de argamassa resultam num efeito benéfico nas propriedades de durabilidade, ou seja, permeabilidade ao ar e

resistência à carbonatação para misturas de argamassa contendo até 10% de substituição do cimento Portland (CHEAH; RAMLI, 2012).

2.4.2 Materiais inertes

O crescimento da construção civil gera uma demanda cada vez maior pela necessidade de agregados. Muitos trabalhos são desenvolvidos atualmente para desenvolver tecnologias que substituam os agregados naturais da construção civil por resíduos. É de grande importância que a tecnologia avance nesse sentido, pois a demanda por matérias-primas é crescente e a poluição e degradação dos recursos naturais tem aumento com o passar dos anos. Em 2010, o índice per capita para o consumo de agregado em nosso país foi de 3,31 toneladas/habitante. Além da degradação das reservas naturais e exploração ilegal, são transportados diariamente nas rodovias brasileiras 2.300.000 toneladas de agregados (considerando a média anual de 275 dias de trabalho), o que representa 22.000 caminhões, 5,7 milhões de quilômetros por dia e 780 milhões de litros/ano de consumo de óleo diesel (ANEPAC, 2015).

Estudos afirmam que a utilização de resíduos são vantajosos para a substituição de agregados. Dyer (2009) realizou testes de resistência mecânica em corpos-de-prova de argamassas confeccionados com a substituição total do agregado por PET (poli tereftalato de etileno) moído e triturado, adquirido de usinas de reciclagem, com diâmetros de 0,001 a 0,1 milímetros (chamado de pó de PET) e de 0,5 a 1,5 milímetros (chamados flocos), todos na proporção volumétrica de 1:2:1 de cimento, areia ou PET, e água. Após ensaios de resistência à compressão, foi observado que as argamassas de PET suportam maiores cargas que os tradicionais feitos de cimento e areia na mesma proporção. Com o estudo realizado, desenvolveu-se uma técnica simples e que acrescenta melhorias no produto final ao substituir a areia, um recurso natural esgotável, por resíduos de PET, contribuindo para a diminuição do número de garrafas a serem destinadas corretamente a aterros sanitários ou erroneamente a lixões e corpos d'água.

Malta, Silva e Gonçalves (2013) estudaram a influência da incorporação de agregado miúdo reciclado em argamassas nos estados fresco e endurecido. A pesquisa abrangeu misturas de referência e misturas com teores de 25% e 50% de substituição de agregado miúdo natural por agregado miúdo reciclado. Os resultados mostraram que as misturas com agregado miúdo reciclado apresentaram-se menos

resistentes e mais absorventes em relação às de referência, principalmente com o aumento da relação água/cimento. Apesar dos resultados mostrarem que as argamassas com agregado miúdo reciclado tem menor desempenho em relação as argamassas de referência, é necessária uma análise de viabilidade de uso destes materiais em argamassas que se encaixem no padrão dos resultados obtidos na pesquisa.

2.5 Argamassas

As argamassas são materiais de construção com propriedades de aderência e endurecimento, obtidos a partir da mistura homogênea de um ou mais aglomerantes, agregado miúdo (areia) e água, podendo ainda conter aditivos ou adições minerais. São materiais muito empregados na construção civil, sendo os seus principais usos para assentamento de alvenaria e em trabalhos de revestimento com o emboço, reboco ou revestimento de camada única em paredes e tetos (ISAIA, 2007).

As argamassas mais antigas eram à base de areia e cal como aglomerante, porém com o passar dos anos, novos materiais e tecnologias foram desenvolvidos. Uma dessas modificações foi a utilização do cimento Portland como aglomerante ao invés somente da cal. Além do cimento, aditivos também foram criados e incorporados às argamassas a fim de melhorar suas propriedades. E já no final do século XIX, surgiram nos Estados Unidos e na Europa, as argamassas industrializadas (ISAIA, 2007).

Os aglomerantes podem ser utilizados isolados ou adicionados a materiais inertes. Quando ocorre a mistura de apenas o aglomerante com a água, tem-se uma pasta. As pastas são de uso restrito nas construções, não só pelo seu elevado custo, afinal trata-se de grande quantidade de aglomerante, que é um material relativamente caro, mas também pelos efeitos secundários que se manifestam principalmente a retração. As pastas preparadas com excesso de água dão origem ao que se chama de nata. As natas de cal são utilizadas em revestimentos e pinturas e as natas de cimento são preparadas para a ligação de argamassas e concretos de cimento e para injeções (PETRUCCI, 1998).

A argamassa é um material litoide artificial, obtido após o endurecimento de uma mistura em proporções adequadas de agregado miúdo, aglomerante e água.

Podem ser utilizadas para revestimento de pisos, tetos e paredes (emboço e reboco) ou no assentamento de tijolos, blocos, azulejos e ladrilhos, assim como no reparo de obras de concreto e injeções. A adição da areia se faz por vários motivos, dentre eles, a diminuição da retração e o barateamento do produto final. Para as argamassas de cal, a areia ainda tem a função de facilitar a passagem do ar para a solidificação do material. As propriedades das argamassas estão diretamente ligadas a diversos fatores tais como a qualidade e quantidade do aglomerante e a qualidade e quantidade de água utilizada. Variando tais condições, tem-se a qualificação do produto final, de acordo com as condições de envolvimento dos grãos com a pasta (AMBROZEWICZ, 2012).

A NBR 13281 (2005) define argamassa como uma mistura homogênea de agregado miúdo, aglomerante e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada). Já a NBR 13529 (2013) define sistema de revestimento como um conjunto formado por argamassa e acabamento, compatível com a natureza da base, condições de exposição, acabamento final e desempenho, previstos em projeto.

Segundo Petrucci (1998), as condições a que uma boa argamassa deve satisfazer são: resistência mecânica, compacidade, impermeabilidade, aderência, constância de volume e durabilidade. Para obtenção de um produto de boa qualidade, é necessário que todos os grãos do material inerte, desde os menores até os maiores, estejam completamente envolvidos pela pasta como também a ela estejam perfeitamente aderidos e que os vazios entre os grãos do agregado estejam completamente cheios pela pasta. Caso esta última condição não esteja atendida, a argamassa poderá, mesmo assim, apresentar resistência à compressão e compacidade elevada e sua coesão poderá ser aceitável, no entanto, sua resistência à tração será baixa, será também muito frágil e ainda apresentará uma grande permeabilidade.

Ainda segundo o autor, o envolvimento dos grãos do agregado pela pasta, bem como o preenchimento dos vazios entre estes grãos pelo aglomerante pode ser alcançado com uma dosagem adequada. Já com relação à aderência entre a pasta e o agregado, existem vários fatores para que esta condição seja alcançada, são elas:

-Os grãos do agregado devem ser hidrófilos;

-Os grãos do agregado devem ser molhados pela água, seja diretamente, seja pela pasta do aglomerante e água, de maneira que permita as relações de aderência entre os grãos de aglomerante em fase de endurecimento e os grãos do material inerte;

-A relação de aderência entre aglomerante e agregado depende da quantidade de água utilizada na mistura, portanto a água deve ser dosada adequadamente;

-A limpeza dos grãos inertes é indispensável para a aderência entre eles e o aglomerante. As interposições, sob forma de película, de coloides, argila e matérias orgânicas, torna aleatório ou ilusório o contato real dos grãos inertes com os elementos ativos do aglomerante. Desta forma, a argamassa mesmo com excesso de pasta, jamais apresentará uma pouca impermeabilidade e resistência a tração;

-O perfeito envolvimento dos grãos pelos filmes de uma pasta, dotada de uma viscosidade necessariamente elevada, apresentará dificuldades rapidamente crescentes com a finura dos grãos do material inerte, e a energia empregada para a mistura raramente é suficiente para a dispersão regular e homogênea dos grãos mais finos da pasta. A distribuição dos grãos de aglomerante na água de contato não se fará de uma maneira homogênea se a quantidade de grãos muito finos for elevada. Desta forma, as argamassas preparadas com agregados que possuem quantidade excessiva de finos apresentarão inconvenientes quanto à gelividade, impermeabilidade, resistência mecânica e durabilidade.

A escolha de um determinado tipo de argamassa está diretamente ligada às exigências requeridas pela obra em questão. Isaia (2007) faz duas classificações para as argamassas como mostra as Tabelas 2.1 e 2.2.

Tabela 2.1 – Classificação das argamassas segundo suas funções na construção.

Função	Tipo
Para a construção de alvenarias	Argamassa de assentamento (elevação da alvenaria)
	Argamassa de fixação ou encunhamento (alvenaria de vedação)
Para revestimento de paredes e tetos	Argamassa de chapisco
	Argamassa de emboço
	Argamassa de reboco
	Argamassa de camada única
	Argamassa para revestimento decorativo monocamada
Para revestimento de pisos	Argamassa de contrapiso
	Argamassa de alta resistência para piso
Para revestimentos cerâmicos (paredes/pisos)	Argamassa de assentamento de peças cerâmicas - colante
	Argamassa de rejuntamento
Para recuperação de estruturas	Argamassa de reparo

Fonte: Isaia, 2007.

Tabela 2.2 – Classificação das argamassas.

Critério de classificação	Tipo
Quanto à natureza do aglomerante	Argamassa aérea
	Argamassa hidráulica
Quanto ao tipo de aglomerante	Argamassa de cal
	Argamassa de cimento
	Argamassa de cimento e cal
	Argamassa de gesso
	Argamassa de cal e gesso
Quanto ao número de aglomerantes	Argamassa simples
	Argamassa mista
Quanto à consistência da argamassa	Argamassa seca
	Argamassa plástica
	Argamassa fluída
Quanto à plasticidade da argamassa	Argamassa pobre ou magra
	Argamassa média ou cheia
	Argamassa rica ou gorda
Quanto à densidade de massa da argamassa	Argamassa leve
	Argamassa normal
	Argamassa pesada
Quanto à forma de preparo ou fornecimento	Argamassa preparada em obra
	Mistura semipronta para argamassa
	Argamassa industrializada
	Argamassa dosada em central

Fonte: Isaia, 2007.

As argamassas de cal são utilizadas geralmente em alvenarias não estruturais. Este tipo de argamassa foi muito empregado durante séculos, quando ainda não se utilizava o cimento Portland e é uma argamassa muito elástica. Não é recomendável que se utilize esta argamassa logo após o preparo, pois nesse momento ainda existem partículas mal queimadas de cal e estas partículas continuam reagindo com a água ainda por um pouco tempo. Se a argamassa for utilizada para revestimento de parede logo após o preparo, o resultado é o surgimento de bolhas. As argamassas de cimento são utilizadas, por exemplo, para chapisco (devido sua resistência a curto prazo), para revestimentos impermeáveis (como o interior de caias d'água e cisternas) e também para pisos cimentados, pois resistem bem ao desgaste. É recomendável que se utilize a argamassa até no máximo 2 horas e 30 minutos após seu preparo. As argamassas mistas de cimento e cal são utilizadas, por exemplo, em alvenarias estruturais, em contrapisos, em assentamento cerâmico, em pisos ou paredes construídos pelo método convencional e especialmente no emboço de paredes e tetos (AMBROZEWICZ, 2012).

2.5.1 Propriedades das argamassas

De acordo com Isaia (2007), as principais funções dos revestimentos argamassados são: proteger a alvenaria e a estrutura contra a ação do intemperismo. Integrar o sistema de vedação do edifício; regularizar a superfície dos elementos de vedação e servir como base para acabamentos decorativos. Visando atender estas funções, algumas propriedades tornam-se essenciais. Na Tabela 2.3 é apresentado um resumo das propriedades requeridas das argamassas.

Tabela 2.3 – Propriedades das argamassas para as diferentes funções.

Tipo de argamassa	Função	Principais requisitos / propriedades
Argamassa de assentamento de alvenaria (elevação)	-Unir as unidades de alvenaria e ajudá-las a resistir aos esforços laterais -Distribuir uniformemente as cargas atuantes na parede por toda a área resistente dos blocos -Absorver deformações naturais a que a alvenaria estiver sujeita -Selar as juntas	-Trabalhabilidade (consistência, plasticidade e retenção de água) -Aderência -Capacidade de absorver deformações -Resistência mecânica

Chapisco	-Garantir aderência entre a base e o revestimento de argamassa -Contribuir com a estanqueidade da vedação	-Aderência
Emboço e camada única	-Proteger a alvenaria e a estrutura contra a ação do intemperismo -Integrar o sistema de vedação dos edifícios contribuindo com diversas funções (estanqueidade, etc.) -Regularizar a superfície dos elementos de vedação e servir como base para acabamentos decorativos	-Trabalhabilidade (consistência, plasticidade e adesão inicial) -Baixa retração -Aderência -Baixa permeabilidade à água -Capacidade de absorver deformações -Resistência mecânica
Contrapiso	-Regularizar a superfície para receber o acabamento (piso)	-Aderência -Resistência mecânica
Argamassa colante (assentamento de revestimento cerâmico)	-Colar a peça cerâmica ao substrato -Absorver deformações naturais a que o sistema de revestimento cerâmico estiver sujeito	-Trabalhabilidade (retenção de água, tempo em aberto, deslizamento e adesão inicial) -Aderência -Capacidade de absorver deformações (flexibilidade), principalmente para as fachadas
Argamassa de rejuntamento (das juntas de assentamento das peças cerâmicas)	-Vedar as juntas -Permitir a substituição das peças cerâmicas -Ajustar os defeitos de alinhamento -Absorver pequenas deformações do sistema	-Trabalhabilidade (consistência, plasticidade e adesão inicial) -Baixa retração -Aderência -Capacidade de absorver deformações (flexibilidade), principalmente para as fachadas
Argamassa de reparo de estruturas de concreto	-Reconstituição geométrica de elementos estruturais em processo de recuperação	-Trabalhabilidade -Aderência ao concreto e armadura originais -Baixa retração e permeabilidade -Resistência mecânica

Fonte: Isaia, 2007.

A trabalhabilidade é a propriedade das argamassas no estado fresco que determina a facilidade com que elas podem ser misturadas, transportadas,

aplicadas, consolidadas e acabadas, em uma condição homogênea. É uma propriedade complexa, resultante da conjunção de diversas outras propriedades, tais como: consistência, plasticidade, retenção de água e de consistência, coesão, exsudação, densidade de massa e adesão inicial. Para cada tipo ou função de argamassa, algumas destas propriedades podem ser mais importantes que outras, como por exemplo, a retenção de água para uma argamassa colante de assentamento de peças cerâmicas. A trabalhabilidade garantirá não só condições de execução, como também o adequado desempenho do revestimento em serviço (ISAIA, 2007). As argamassas de cal tem muito mais coesão do que as de cimento, de mesmo traço, por isto elas necessitam de menos aglomerante do que as de cimento, para obter-se uma massa com trabalhabilidade própria para assentamento e revestimento. Além disso, as argamassas de cal retêm por muito mais tempo a água de amassamento. O substrato quando seco, retira a água das argamassas de cimento mais rapidamente do que das argamassas de cal (PETRUCCI, 1998).

A consistência é a maior ou a menor facilidade da argamassa deformar-se sob ação de cargas. E a plasticidade é a propriedade pela qual a argamassa tende a conservar-se deformada após a retirada das tensões de deformação. A consistência pode ser classificada em seca, plástica ou fluída, dependendo da quantidade de pasta aglomerante existente ao redor dos agregados, como mostra a Figura 2.5, observa-se três situações em que visualiza-se a pasta, o agregado e o ar (ISAIA, 2007).

- (a) – Argamassa seca: a pasta aglomerante somente preenche os vazios entre os agregados, deixando-os ainda em contato. Existe atrito entre as partículas que resulta em uma massa áspera;
- (b) – Argamassa plástica: uma fina camada de pasta aglomerante “molha” a superfície dos agregados, dando uma boa adesão entre eles com uma estrutura pseudo-sólida;
- (c) – Argamassa fluída: as partículas de agregado estão imersas no interior da pasta aglomerante, sem coesão interna e com tendência de depositar-se por gravidade (segregação). Os grãos de areia não oferecem nenhuma resistência ao deslizamento, mas a argamassa é tão líquida que se espalha sobre a base, sem permitir a execução adequada do trabalho.

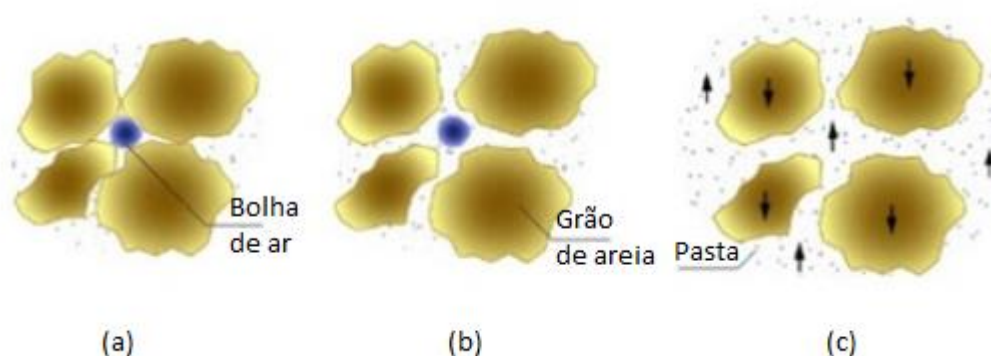


Figura 2.5 – Componentes da argamassa conforme sua consistência.

Fonte: Isaia, 2007.

De acordo com Isaia (2007), a retenção de água é uma propriedade que está associada à capacidade da argamassa fresca manter sua trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam perda de água de amassamento, seja por evaporação ou por absorção de água da base. Assim, essa propriedade torna-se mais importante quando a argamassa é aplicada sobre substratos com alta sucção de água ou em condições climáticas mais desfavoráveis, como por exemplo, altas temperaturas, baixa umidade relativa e ventos fortes. Ainda segundo o mesmo autor, esta propriedade, além de interferir no comportamento da argamassa no estado fresco (como no processo de acabamento e na retração plástica), também afeta as propriedades da argamassa endurecida. Após o endurecimento, as argamassas dependem de uma adequada retenção de água para que as reações químicas de endurecimento dos aglomerantes ocorram de forma apropriada. As propriedades que podem ser afetadas no estado endurecido são: aderência, resistência mecânica final e a durabilidade do material aplicado.

A propriedade da densidade de massa das argamassas, também denominada de massa específica, varia com o teor de ar (principalmente quando incorporado por meio de aditivos) e com a massa específica dos materiais constituintes da argamassa, principalmente do agregado. Quanto mais leve for a argamassa, mais trabalhável será a longo prazo, o que reduz o esforço do operário na sua aplicação, resultando em um aumento de produtividade ao final da jornada de trabalho. A massa específica da argamassa endurecida é um pouco menor do que o valor no estado fresco, devido à saída de parte da água. Os corpos-de-prova cilíndricos de argamassa endurecida, seca ao ar e em estufa, reduzem de 7% a 9% em relação ao valor inicial no estado fresco. O teor de ar está diretamente associado à densidade

de massa das argamassas (ISAIA, 2007). Na Tabela 2.4, pode-se observar usos indicados das argamassas de acordo com sua faixa de densidade de massa.

Tabela 2.4 – Usos indicados das argamassas de acordo com sua faixa de densidade de massa.

Argamassa	Densidade de massa (g/cm ³)	Principais agregados	Usos
Leve	$d < 1,40$	Vermiculita, perlita, argila expandida	Isolamento térmico e acústico
Normal	$2,30 \geq d \geq 1,40$	Areia de rio (quartzo) e calcário britado	Aplicações convencionais
Pesada	$d > 2,30$	Barita (sulfato de bário)	Blindagem de radiação

Fonte: Isaia, 2007.

A adesão inicial é a capacidade de união inicial da argamassa no estado fresco a uma base. Ela está diretamente relacionada com as características reológicas da pasta aglomerante, especificamente a sua tensão superficial. A redução da tensão superficial da pasta favorece a molhagem do substrato, reduzindo o ângulo de contato entre as superfícies e implementando a adesão. Este fenômeno propicia um maior contato físico da pasta com os grãos de agregado e também com a base, melhorando assim a adesão (ISAIA, 2007). De acordo com o mesmo autor, a adição de cal à argamassa de cimento diminui a sua tensão superficial, contribuindo para molhar de maneira mais efetiva a superfície dos agregados e do substrato. Efeitos semelhantes são obtidos através de aditivos incorporadores de ar e retentores de água.

A propriedade da retração é resultado da variação e volume da pasta aglomerante. Quando a pasta possui alta relação água/aglomerante, retrai ao perder a água em excesso de sua composição. Parte dessa retração é consequência das reações químicas de hidratação do cimento, mas a parcela principal é devida à secagem. A retração inicia no estado fresco e prossegue após o endurecimento do material (ISAIA, 2007).

Se a secagem é lenta, a argamassa tem tempo suficiente para atingir uma resistência à tração necessária para suportar as tensões internas que surgem. Porém quando o clima é quente, seco e com ventos fortes, acelera a evaporação e a perda de água rapidamente gera fissuras de retração. O mesmo ocorre quando a argamassa é aplicada sobre um substrato muito absorvente. Para os revestimentos,

quanto maior sua espessura, maior a retração esperada. E as fissuras características da retração são mapeadas (aproximadamente poliédricas), formando ângulos próximos de 90° entre elas (ISAIA, 2007).

Segundo Isaia (2007), a retração plástica é influenciada também pelo teor de materiais pulverulentos (grãos com tamanho inferior à 0,075mm). De forma geral, quanto maior o teor de finos, maior a retração. Esses finos tem alto poder plastificante devido à sua alta superfície específica e à sua natureza e para uma trabalhabilidade adequada, requerem maior quantidade de água de amassamento, gerando assim maior retração e fissuração, além de uma alta relação água/cimento, o que acarretará na redução da resistência mecânica. A distribuição granulométrica da areia também influencia a retração plástica, como mostra a Figura 2.6.

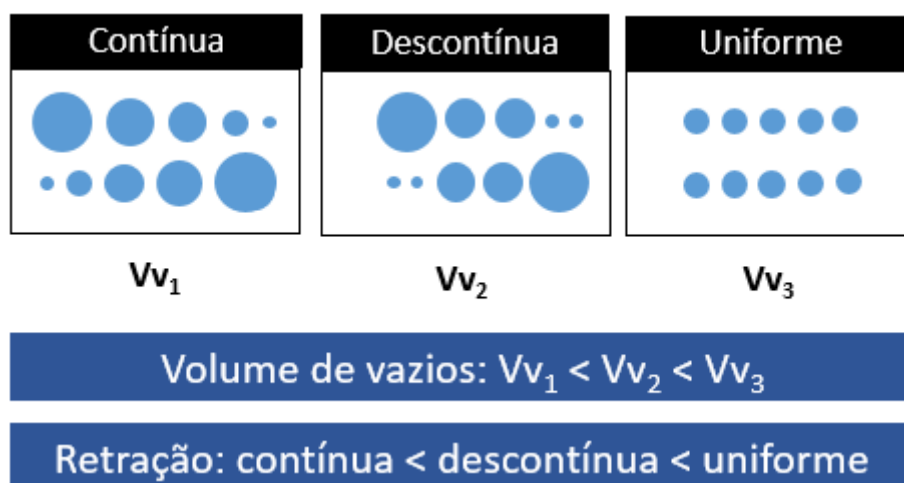


Figura 2.6 – Influência da distribuição granulométrica na retração.
Fonte: Isaia, 2007

O termo aderência é utilizado para descrever a resistência e a extensão do contato entre a argamassa e uma base. A base, ou substrato, geralmente é representada não só pela alvenaria, a qual pode ser de tijolos ou blocos cerâmicos, blocos de concreto, etc., como também pela estrutura do concreto moldado in loco. Assim não se pode falar de aderência de uma argamassa sem especificar em que material ela está aplicada, pois aderência é uma propriedade que depende da interação dos dois materiais. Pode-se dizer, resumidamente, que a aderência deriva da conjunção de três propriedades da interface argamassa-substrato, são elas: Resistência de aderência à tração; Resistência de aderência ao cisalhamento e Extensão de aderência (área de contato efetivo / área total possível de ser unida). O

cimento pode influenciar a aderência, pois quanto mais fino for, maior a resistência de aderência obtida, porém a utilização de cimentos com maior finura podem levar à retração e fissuração do revestimento. Argamassas que contém cal preenchem mais facilmente e de maneira mais completa toda a superfície do substrato, propiciando maior extensão de aderência. Além disso, a durabilidade da aderência é proporcionada pela habilidade da cal em evitar fissuras e preencher vazios, o que é conseguido através da reação de carbonatação que se processa ao longo do tempo (ISAIA, 2007).

Ainda de acordo com o autor, areias muito grossas não produzem argamassas com boa capacidade de aderir porque prejudicam a sua trabalhabilidade e, conseqüentemente, a sua aplicação ao substrato, reduzindo a extensão de aderência. Já as areias ou composições inertes com alto teor de finos (principalmente partículas inferiores à 0,075mm) podem prejudicar também a aderência. De maneira geral, para obtenção de bons resultados de aderência, a areia deve possuir uma distribuição granulométrica contínua e quanto maior o módulo de finura das areias, desde que produzam argamassas trabalháveis, maior será a resistência de aderência obtida.

Já a resistência mecânica diz respeito à propriedade dos revestimentos de possuírem um estado de consolidação interna capaz de suportar esforços mecânicos das mais diversas origens e que se traduzem, em geral, por tensões simultâneas de tração, compressão e cisalhamento. Esforços como o desgaste superficial, impactos ou movimentação hidrosférica são exemplos de solicitações que exigem resistência mecânica dos revestimentos, pois geram tensões internas que tendem a desagregá-los. E um dos principais problemas nos revestimentos, associado à resistência mecânica da argamassa, é a baixa resistência superficial, que se traduz na pulverulência, prejudicando a fixação das camadas de acabamento, como a pintura, ou mais grave ainda, as peças cerâmicas (ISAIA, 2007).

Segundo Baía e Sabbatini (2000), a resistência mecânica é a propriedade das argamassas de suportarem ações mecânicas de diferentes tipos, devidas à abrasão superficial, ao impacto e à contração higroscópica. A resistência mecânica é influenciada pela quantidade e natureza dos agregados e aglomerantes da argamassa e pela técnica de execução. A resistência mecânica aumenta com a

redução da proporção de agregado na argamassa e varia inversamente com a relação água/cimento da argamassa.

De acordo com Petrucci (1998), as argamassas de cal possuem resistências mecânicas muito baixas e independem do traço. A resistência à compressão aos 28 dias varia de 5 a 15 kgf/cm².

2.5.2 Argamassas produzidas com resíduos

Estima-se que pouco mais da metade dos materiais extraídos da natureza retorna como resíduos, pois todo produto, no final de sua vida útil, se transforma em lixo ou resíduo pós-uso, gerando assim problemas ambientais, por isso muitos autores têm estudado a incorporação de resíduos agrícolas ou industriais na produção de materiais para a construção civil (OKADA *et al*, 2013).

Cavalcanti e Ribeiro (2013) estudaram a utilização de areia contendo cinza do bagaço da cana-de-açúcar em substituição parcial ou total ao agregado miúdo convencional para a produção de argamassas, buscando assim, uma alternativa ambientalmente adequada para destinar esse rejeito e agregar valor a este sub-produto gerado pela indústria sucro-alcooleira. Em seu trabalho, foi utilizado o resíduo para substituição do agregado miúdo convencional nos teores de 25%, 50%, 75% e 100%. Os resultados mostraram que o aumento do teor de substituição do agregado convencional contribui para diminuição da densidade aparente e aumento da porosidade da argamassa, devido a massa específica do resíduo ser menor que a do agregado. E os resultados para a resistência mecânica para as argamassas preparadas com teor de substituição do agregado miúdo de 50% foi muito próximo a resistência mecânica da argamassa de referência. Este resultado sugere que é possível a utilização de resíduos em argamassas, desde que sejam testadas as propriedades requeridas para utilização da mesma com a incorporação de resíduos.

Os resíduos industriais podem ser utilizados para fabricação de argamassas, substituindo o agregado natural ou em substituição ao aglomerante. Silva, N., Silva, G. e Gleize, P. (2013) estudaram argamassas de revestimento fabricadas com areia residual proveniente da produção de minérios e observaram que apesar de menor resistência mecânica e maior permeabilidade à água que a argamassa de referência, foi possível a obtenção de uma argamassa com boa trabalhabilidade e melhor adesão ao substrato, através da sua granulometria contínua e a utilização de

aditivos incorporadores de ar, resultando em um revestimento com boa adesão e sem apresentar fissuras.

Matias, Torres e Faria (2013) analisaram argamassas de cal hidráulica natural com incorporação de resíduos cerâmicos. Os resultados obtidos apontaram uma argamassa com comportamento satisfatório face à água, mesmo sem qualquer tipo de adição, e também apontaram melhorias em suas propriedades como resistência mecânica, o que denota alguma reatividade pozolânica do resíduo utilizado. Assim como os autores citados acima, Higashiyama *et al* (2012) pesquisaram a respeito de argamassas fabricadas com resíduos cerâmicos, porém seu estudo se deteve em analisar a penetração de íons cloreto na referida argamassa. Neste estudo, o agregado de resíduo cerâmico utilizado no experimento é resíduo cerâmico de isoladores elétricos fornecidos por uma empresa de energia elétrica no Japão, que foram esmagados em vários tamanhos para substituição dos agregados finos. A influência deste resíduo foi avaliada através dos testes em quatro séries de argamassa como se segue: argamassas feitas de diferentes agregados finos, argamassas feitas do agregado de resíduo cerâmico em diferentes tamanhos de partículas, argamassas feitas do agregado de resíduo cerâmico em quantidades diferentes, e argamassas feitas do agregado de resíduo cerâmico com teores de substituição ao agregado natural diferentes. A partir dos resultados experimentais, verificou-se que as argamassas fabricadas com este resíduo são mais eficazes na resistência de penetração do íons cloreto do que uma argamassa típica feita de areia de rio.

Heineck e Kazmierczak (2013) também estudaram a incorporação de resíduo para fabricação de argamassas, neste caso, o agregado miúdo reciclado de concreto pré-fabricado em substituição à areia natural. Foi verificado neste estudo que há grandes diferenças no comportamento das argamassas confeccionadas com o agregado reciclado e a areia natural, com perda em praticamente todas as propriedades das argamassas com agregados reciclados, com exceção da absorção de água por imersão, índice de vazios e módulo de elasticidade. O módulo de elasticidade dinâmico se apresentou menor que a argamassa com agregado natural, o que é uma característica positiva para as argamassas, pois o revestimento fica mais deformável, prevenindo possíveis problemas de fissuração no revestimento. A densidade de massa e massa específica real apresentaram resultados inferiores à

argamassa de referência, o que também se propõe como vantagem em argamassas de revestimento, acarretando em menor peso para a fachada da edificação.

O uso de agregados reciclados na fabricação de argamassas para construção tem sido uma alternativa viável de contribuição para o desenvolvimento sustentável, evitando o impacto negativo desses resíduos no meio ambiente natural. Muñoz-Ruiperez *et al* (2016) estudaram argamassas leves feitas com argila expandida e agregados reciclados. A pesquisa desenvolvida pelos autores utiliza diferentes tipos de agregados reciclados miúdos oriundos de resíduos de concreto e entulho. As propriedades dos materiais foram avaliadas por meio de caracterização física e química, suas propriedades mecânicas foram testadas, e a viabilidade econômica do produto final avaliado. Como conclusão, os autores constataram que há diferenças significativas observadas entre as argamassas fabricadas com agregados reciclados e as argamassas fabricadas com agregados naturais, porém eles concordam que os agregados reciclados podem ser uma alternativa técnica e economicamente viável para a fabricação de argamassas.

Farinha, Brito e Veiga (2015) investigaram a incorporação de finos agregados de louças sanitárias em argamassas de revestimento. A pesquisa analisou o comportamento de argamassas de cimento com adição de artigos sanitários bem moídos, utilizados como agregados, em percentagens de 0%, 10%, 15% e 20% do volume dos agregados naturais. O desempenho dessas argamassas modificadas foi avaliado em termos de resistência, absorção de água, retenção de água, instabilidade dimensional e permeabilidade à água. Os resultados da pesquisa foram positivos, uma vez que as argamassas modificadas tiveram, na maioria dos testes, melhor desempenho do que a argamassa de referência. Sendo que a argamassa modificada com 20% de adição foi a que apresentou o melhor desempenho de todas as argamassas modificadas, em particular em termos de maior resistência mecânica e menor absorção de água.

Alguns autores tem desenvolvido trabalhos de pesquisa sobre a utilização do resíduo pó de mármore, por exemplo, para aplicações em argamassas. Xu *et al* (2016) estudaram argamassas à base de cal hidráulica preparadas com resíduo pó de mármore como agregado e diatomita/cinzas volantes como adição mineral. O estudo sugere a viabilidade da utilização destes resíduos, porém se detém em avaliar a influência das adições minerais na melhoria das propriedades destas

argamassas. Os resultados indicaram que a resistência mecânica das argamassas preparadas com diatomita foi reforçada e as cinzas volantes adicionaram uma melhoria notável na resistência à flexão das argamassas. Sendo que a diatomita foi considerada mais eficaz do que as cinzas volantes para a melhoria das propriedades gerais das argamassas. Isso pode ser explicado devido a reação pozolânica entre os aditivos minerais e a cal, que ocorreram principalmente durante o período de cura de 14 e 28 dias.

A utilização de resíduos de construção e demolição para fabricação de argamassas também constituem objeto de estudo de alguns autores. Silva e Carneiro (2013) estudaram os efeitos da utilização de resíduos de construção em pastas à base de cimento e cal. A pesquisa avaliou a influência dos resíduos gerados em etapas distintas em pastas à base de cimento e cal. As pastas produzidas para a pesquisa foram de traço 1:8, em massa e a fração granulométrica utilizada do resíduo foi menor que 0,075mm. Os autores concluíram que resíduos de construção de natureza diferentes têm características físicas semelhantes, e o comportamento reológico de todas as pastas produzidas atendeu ao modelo de Bingham. Além disso a plasticidade das pastas foi evidenciada com a presença da cal, promovendo um melhor escoamento, com redução da tensão inicial, diferentemente das pastas cimento. Porém seriam necessários mais estudos para analisar a potencialidade destes agregados. Hawlitschek *et al* (2013) também estudaram resíduos de construção, porém seu estudo se deteve em analisar a influência de areias recicladas a partir de resíduos de construção e demolição em argamassas. O trabalho comparou o desempenho de uma areia reciclada britada com granulometria abaixo de 1,2 mm, o que proporciona uma maior remoção da pasta de cimento, com outras duas areias comercializadas na cidade de São Paulo, tanto no estado fresco quanto no endurecido. Os autores puderam observar que as diferenças no desempenho das argamassas foram causadas pelas diferentes características das areias, principalmente morfologia e porosidade/área superficial, pois possuíam a mesma distribuição granulométrica e as argamassas foram dosadas na mesma proporção. As formulações consumiram diferentes teores de água (diretamente proporcional à porosidade das areias), e resultaram em argamassas com comportamento reológico similar. E apesar da porosidade da areia reciclada ser aproximadamente 10 vezes maior do que as demais, o consumo de

água aumentou em 20% e 30% em relação à areias convencionais. Consequentemente, o desempenho mecânico das argamassas produzidas com areia oriunda do resíduo de construção ficou 10% abaixo da argamassa fabricada com a areia padrão da norma brasileira e 25% abaixo da argamassa produzida com areia oriunda da britagem de rochas calcárias e comercializada na cidade de São Paulo.

Tan e Du (2013) examinaram a utilização de resíduos de vidro como areia em argamassa. A argamassa estudada foi fabricada com resíduos de vidro como agregados finos em substituição ao agregado natural nos teores de substituição de 0%, 25%, 50%, 75% e 100%, em massa. Os resultados indicaram que o uso de partículas de vidro reduziu a fluidez e a densidade da argamassa, porém aumentou o seu teor de ar incorporado, devido a forma irregular e menor densidade das partículas de vidro. As propriedades mecânicas foram comprometidas devido à ligação enfraquecida na zona de transição interfacial entre as partículas de vidro e pasta de cimento. No entanto, a durabilidade foi melhorada, especialmente em termos de resistência à penetração do íons cloreto. Bem como os autores Tan e Du (2013), Okada *et al* (2013) também analisaram a influência do vidro como adição para fabricação de argamassas. Diferentemente dos primeiros, estes autores utilizaram a fibra do vidro como adição aos traços e como substituição da cal e não dos agregados. O resíduo utilizado nesse experimento como aditivo/adição para argamassas, foi obtido do pós-processamento de peças estruturais produzidas comercialmente com fibras de vidro. Os resultados deram destaque ao traço com substituição total da cal pelo resíduo, que gerou boas respostas, o que propõe que a cal e o resíduo estudado não possuem boa interação dentro de uma matriz cimentícia. Mas separados podem ser comparados em relação as suas qualidades de incorporação. A substituição total da cal pelo resíduo originou ganhos de plasticidade, resistência à compressão e tração, diminuição da densidade e da capilaridade.

Ainda sobre a utilização de resíduos de vidro em argamassas, Pereira-de-Oliveira, Castro-Gomes e Santos (2012) estudaram o potencial pozolânico do resíduo de vidro e da cerâmica vermelha como componentes das argamassas cimentícias. O trabalho desenvolvido pelos autores examinou a possibilidade de reutilizar resíduos embalagens de vidro, de tijolos e de telhas de barro vermelho da

indústria cerâmica em Portugal como substituição parcial de cimento em argamassas. Os resíduos eram finamente moídos. Dos resíduos cerâmicos de telhas e tijolos estudados, apenas o pó residual da telha tem potencial pozolânico. Isto foi explicado pela temperatura inferior dos fornos dos tijolos, o que não fornece propriedades pozolânicas neste caso. Já os experimentos a respeito do vidro, indicam que ele satisfaz os requisitos químicos básicos para uma pozolana, no entanto, ele não está em conformidade com a exigência adicional para o conteúdo alcalino, devido à elevada percentagem de Na_2O no vidro. Mesmo assim, o pó de vidro finamente moído, superior $250 \text{ m}^2/\text{kg}$ de superfície específica Blaine, teve atividade muito alta pozolânico. Em termos de quantidade de substituição de cimento, 30% de cimento pode ser substituído por vidro residual moído com tamanho de 45 à $75 \mu\text{m}$ em argamassas, sem que haja quaisquer efeitos prejudiciais causados pela expansividade induzida pela reação álcali-sílica.

Os autores Matos e Sousa-Coutinho (2012) realizaram estudo sobre a durabilidade de argamassas produzidas com pó de vidro em substituição ao cimento. O trabalho consistiu em utilizar resíduo de vidro moído em argamassa como substituição parcial do cimento nos percentuais de 0%, 10% e 20%. Os experimentos confirmaram os resultados obtidos por Pereira-de-Oliveira, Castro-Gomes e Santos (2012) no que diz respeito a sua pozolanicidade. E apesar do elevado teor de álcalis no resíduo, a expansão pela reação álcali-sílica foi drasticamente reduzida. Ademais, as partículas de vidro apresentaram-se bem encapsuladas em gel denso e maduro observadas na microscopia eletrônica de varredura, o que sugere boa propriedade de durabilidade.

O'Farrell, Wild e Sabir (2001) investigaram o tamanho de poros em argamassas que contêm resíduos de diferentes tijolos fabricados na Europa. Tais resíduos foram moídos grosseiramente até atingir uma finura próxima ao cimento e em seguida foram utilizados para a fabricação das argamassas em teores de substituição ao cimento de 0%, 10%, 20% e 30%. A quantidade de poros, seus tamanhos e a resistência mecânica foram avaliados nestas argamassas em um período de cura de até um ano. Os efeitos observados nos resultados mostram uma melhoria na resistência mecânica para todos os resíduos utilizados a partir dos 90 dias de cura e principalmente para os menores teores de substituição que é de 10%. Isto ocorreu devido a produção adicional de gel C-S-H, acarretando na redução dos

tamanhos dos poros da argamassa com resíduo. Os mesmos autores, O'Farrell, Sabir e Wild (2006), estudaram posteriormente a resistência química e mecânica de argamassas contendo resíduos de tijolos fabricados de argila submetidos a diferentes tratamentos. Argamassas foram preparadas utilizando argila termicamente tratada ou resíduos de tijolos de argila (a partir da mesma argila, submetidos a 1000°C de calcinação) como substituição parcial de cimento nos teores de 10%, 20% e 30% de substituição. Os resultados apontaram que a substituição parcial do cimento por resíduo de tijolo gera resistências mecânicas inicialmente menores que da argamassa de controle, porém aos 90 dias, estas resistências se igualam e até ultrapassam as das argamassas de controle, o que reafirma os resultados obtidos no trabalho dos autores em 2001. Quanto a argila termicamente tratada, esta apresenta eficácia na redução da expansão durante a exposição da argamassa a uma solução de sulfato e de água do mar. Sendo que a argila rapidamente resfriada dá um melhor desempenho, em termos de desenvolvimento resistência mecânica e resistência a soluções prejudiciais, do que a argila resfriada lentamente.

Naceri e Hamina (2009), assim como os autores acima citados, estudaram a utilização de resíduo de tijolos como substituição parcial ao cimento na fabricação de argamassas. Os teores de substituição adotados foram de 0%, 5%, 10%, 15% e 20% em peso do cimento. Os resultados obtidos mostram que a substituição de cimento por 10% de resíduos de tijolos cerâmicos aumentou a resistência mecânica das argamassas através da formação de portlandita adicional, como mencionado pelos autores O'Farrell, Sabir e Wild (2001, 2006).

Fontes *et al* (2013) buscaram por soluções sustentáveis, estudando o uso do resíduo das barragens de rejeito de minério de ferro como agregados reciclados para produção de argamassa. Os resultados encontrados pelos autores mostram que o comportamento mecânico das argamassas compostas com rejeito apresentou-se superior, principalmente a idade de 28 dias, às argamassas produzidas com agregados naturais, tanto para compressão, quanto para tração na flexão. As argamassas produzidas com o agregado reciclado e com o agregado natural apresentaram a mesma trabalhabilidade, ainda que as argamassas com agregado reciclado contivessem quantidades maiores de água, menores teores de ar incorporado e maiores densidades de massa no estado fresco e endurecido, em função da elevada massa específica do rejeito. Por outro lado, Ouda e Abdel-

Gawwad (2015) também pesquisaram sobre o ferro. Sua pesquisa consistiu em analisar seu efeito nas propriedades físicas, mecânicas e radiológicas da argamassa de cimento, com a substituição da areia natural por escória de ferro. Em seu estudo, as argamassas de cimento foram preparadas na proporção de 1:3 (aglomerante:agregado) e as porcentagens de substituição do agregado por escória de ferro foram de 0%, 40%, 80% e 100% em peso de agregado fino. Foi observado nos resultados que a resistência das argamassas foi aumentada com a substituição parcial da areia pela escória de ferro. Foi observado ainda que a inclusão de escória de ferro como substituição parcial do agregado aumenta a densidade da argamassa. Por outro lado, a substituição completa da areia por escória de ferro tem efeitos significativos na eficiência de blindagem em escudos de espessura, uma vez que reduz a captura dos raios gama melhor que a argamassa fabricada com areia normal.

A gestão dos resíduos de minas é uma preocupação ambiental em todo o mundo. Diante dos problemas ecológicos oriundos da geração dos rejeitos e seu armazenamento, há uma grande necessidade de desenvolver métodos alternativos sustentáveis para a gestão destes materiais (ARGANE *et al*, 2015). Sob este propósito, Argane *et al* (2015) estudaram o reaproveitamento de rejeitos base-metálicos como agregados para argamassas de revestimento. A pesquisa avaliou o comportamento geoquímico e a performance de duas argamassas fabricadas com rejeito metálico com baixo teor de sulfetos, comumente utilizado para substituição do agregado natural em argamassas de revestimento na região do Marrocos Oriental. Os resultados apontaram que a reutilização destes rejeitos com baixo teor de sulfetos e concentrações residuais de metais relativamente menores (As = 30mg/kg, Cr = 60mg/kg, Pb = 4500mg/kg, Zn = 250mg/kg) gera argamassas com boa resistência mecânica e durabilidade. Com relação ao comportamento geoquímico, os ensaios de lixiviação indicaram que o risco de liberação de metais nestas argamassas à base de rejeitos são menores e sua reutilização como argamassa de revestimento constitui uma alternativa sustentável para a gestão eficiente de rejeitos.

Fontes *et al* (2016) investigaram a fabricação de argamassas para assentamento e revestimento produzidas com rejeitos de minério de ferro a partir de represas de decantação. Com o objetivo de mitigar o impacto ambiental da indústria de mineração de ferro, a pesquisa avaliou a viabilidade técnica destes rejeitos como

material de construção, em argamassas para assentamento e revestimento. Três tipos de misturas foram produzidas: argamassas convencionais, argamassas com substituição completa do agregado natural pelo rejeito e argamassas onde houve substituição da cal por rejeito na proporção de 10%, 20%, 50% e 100%. Os resultados da pesquisa mostraram um aumento da densidade aparente, o que ratifica os resultados obtidos em trabalhos anteriores por Ouda e Abdel-Gawwad (2015) e Fontes *et al* (2013). Houve também uma redução dos níveis de ar incorporado, sendo que as propriedades mecânicas foram melhoradas quando comparadas com as argamassas convencionais.

Ainda sob a problemática ambiental na indústria da mineração, Pivotto e Abreu (2015) elaboraram uma pesquisa para analisar a produção de argamassas com areia de rejeito basáltico. As argamassas estudadas foram produzidas com substituição parcial da areia natural de rio por areia de rejeito basáltico, resultante de processo de extração de ametista. Foram confeccionadas argamassas com traços de cimento, cal e agregado miúdo, em volume, nas proporções 1:1:6; 1:2:8 e 1:2,3:10, produzidas com 0%, 25% e 50% areia de rejeito em substituição à areia natural de rio. Os resultados obtidos, destacaram um favorecimento da resistência mecânica nas argamassas produzidas com rejeito, principalmente para os traços médio e pobre; os coeficientes de capilaridade foram maiores para as argamassas produzidas com rejeito, que evidenciaram uma maior demanda de água em relação a argamassa convencional produzida com areia de rio. Sendo que os autores concluíram serem necessárias maiores investigações para que seja comprovada a viabilidade de uso deste rejeito com material para produção de argamassas.

Guacelli, Risson e Carbonari (2015) também pesquisaram sobre material basáltico. Seu estudo analisou a substituição de areia de extração pela areia de britagem de rochas basálticas em argamassa de revestimento. Foi adotado um traço de 1:1:6 (cimento, cal, areia) em volume e adicionou-se as proporções 50%, 70% e 100% de areia de britagem. Como resultado da pesquisa, os autores puderam observar que o aumento da proporção da areia de britagem na argamassa, acarretou uma redução da relação água/cimento para uma determinada consistência, redução de água exsudada e aumento da densidade. No estado endurecido, foi observado um aumento na resistência à compressão, aumento da densidade, aumento no módulo de elasticidade e aumento na intensidade de

fissuração. Após análise de todos os resultados, os autores concluíram que é viável a utilização de areia de britagem para a produção de argamassas na proporção de 50% em substituição à areia de extração convencional.

Além da escória do ferro, a escória do aço também constitui uma alternativa para utilização como material de construção. Este material que outrora era simplesmente estocada em aterros, atualmente pode ser beneficiada e gerar uma variedade de produtos com diversas aplicações. A indústria siderúrgica é responsável por gerar esse resíduo e necessita priorizar uma gestão ambiental eficaz de seus resíduos. Sabe-se que a escória produzida pela indústria siderúrgica tem sido utilizada como materiais de construção em todo o mundo, mais especificamente como um agregado siderúrgico em muitos tipos de aplicações como por exemplo em obras rodoviárias, ferroviárias, como material de enchimento, concreto asfáltico, blocos de cimento e telhas (RAMOS; POLISSENI; FREESZ, 2014).

Santamaría-Vicario *et al* (2015) pesquisaram sobre argamassas fabricadas simultaneamente com agregados de diferentes escórias de aço. Sua pesquisa utilizou a escória de forno elétrico a arco e a escória do forno branco concha, em substituição ao agregado miúdo natural em argamassas. As argamassas foram dosadas com fina escória de aço em diferentes teores de substituição ao agregado (25%, 50%, 75% e 100%). Os resultados indicaram que os valores da densidade da argamassa aumentavam com o grau de substituição dos agregados por escória, porém quando se adicionou aditivos a densidade diminuiu, devido a incorporação de ar à mistura. As argamassas fabricadas com escória apresentaram boa resistência mecânica, embora o uso de aditivos tenha provocado uma redução em força, todas as argamassas mantiveram valores de resistência à compressão aos 28 dias superior a 5 N/mm². Os autores puderam concluir que as argamassas analisadas são tecnicamente viáveis para uso na construção civil.

Posteriormente, os autores acima citados realizaram mais um trabalho de pesquisa, desta vez, sobre a durabilidade das argamassas produzidas com a escória de aço. O estudo realizado por Santamaría-Vicario *et al* (2016) compreendeu argamassas fabricadas com a escória de forno elétrico a arco e a escória do forno concha, em substituição ao agregado miúdo. Foram realizados testes de durabilidade, entre eles, ciclos de congelamento e descongelamento, ciclos de

molhamento e secagem, testes em ambientes marinhos, testes de cristalização de sal, e ambientes industriais. Os resultados mostraram bom comportamento das argamassas nos testes de durabilidade, sem alterações em sua aparência e sem perda significativa de material após os testes, o que permitiu aos autores concluir que as argamassas apresentaram estabilidade nos testes contra as ações de aceleração envelhecimento.

A indústria eletrônica constitui outro setor que gera resíduos e um destes resíduos foi objeto de estudo dos autores Zhao, Poon e Ling (2013). Os autores estudaram argamassas produzidas com cátodo reciclado em substituição a areia fina natural das argamassas, nas porcentagens de 0%, 25%, 50%, 75%. Para fabricação destas argamassas, 25% do cimento Portland Normal foi substituído por cinzas volantes ou escória de alto forno. Os resultados dos testes mostraram que a utilização do cátodo reciclado melhorou as propriedades do estado fresco da argamassa, além disso também melhorou as propriedades mecânicas. Foi observado também, que a série onde se utilizou as cinzas volantes em substituição parcial ao cimento, originou argamassas com melhores propriedades no estado fresco, menor densidade e melhores propriedades mecânicas do que a série que utilizou escória de alto forno para substituição parcial do cimento.

3 Metodologia Experimental

A pesquisa foi desenvolvida utilizando o resíduo oriundo da produção de scheelita do município de Currais Novos/RN. Este resíduo foi submetido a uma caracterização preliminar e, em seguida, foram definidos os traços das argamassas e os teores de substituição do agregado pelo resíduo. Em seguida, as argamassas foram produzidas e ensaios no estado fresco e endurecido foram realizados, conforme a Figura 3.1 que ilustra o fluxograma detalhado das etapas da pesquisa desenvolvida.

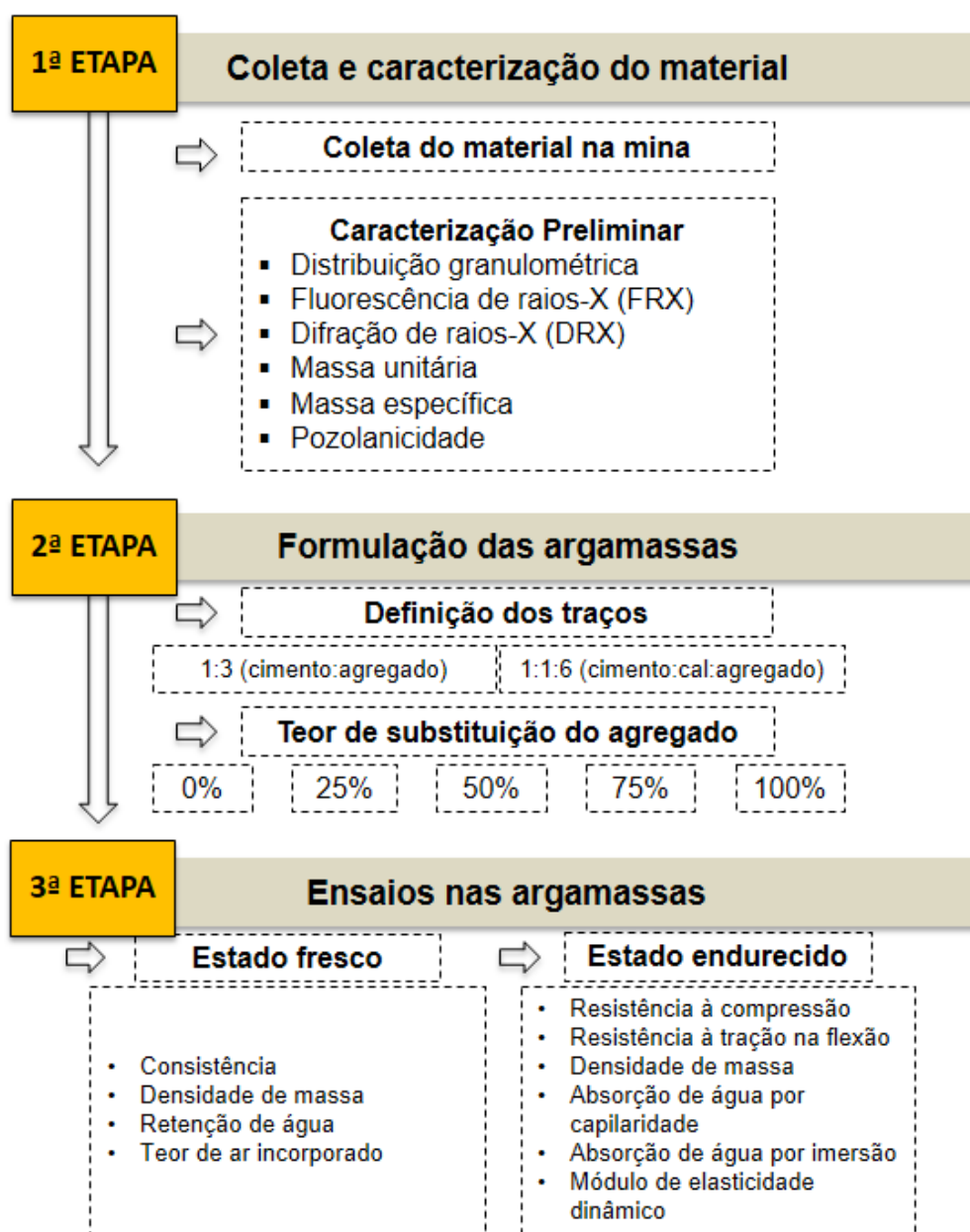


Figura 3.1 – Fluxograma com as etapas da pesquisa.
Fonte: Autoria própria, 2015.

3.1 Coleta do resíduo oriundo da produção de scheelita

Foram coletados cerca de 50kg de resíduo fino (módulo de finura = 0,08) e 50kg de resíduo grosso (módulo de finura = 1,73) na mina Brejuí, localizada no município de Currais Novos/RN - Brasil. A coleta foi realizada nas pilhas de rejeito à céu aberto, escavando-se cerca de 30cm da superfície para extração do material. Antes de serem acondicionados em tambores plásticos fechados, os resíduos foram colocados em estufa a 105°C por 24 horas para garantir que fossem armazenados sem umidade. O resíduo fino, por possuir uma quantidade considerável de pequenas raízes que se misturavam ao mesmo, foi passado na peneira número 16, de abertura 1,20mm, para retirada do material orgânico (retirada das raízes maiores). Nas Figuras 3.2(a) e 3.2(b), pode-se observar a imagem de cada resíduo.

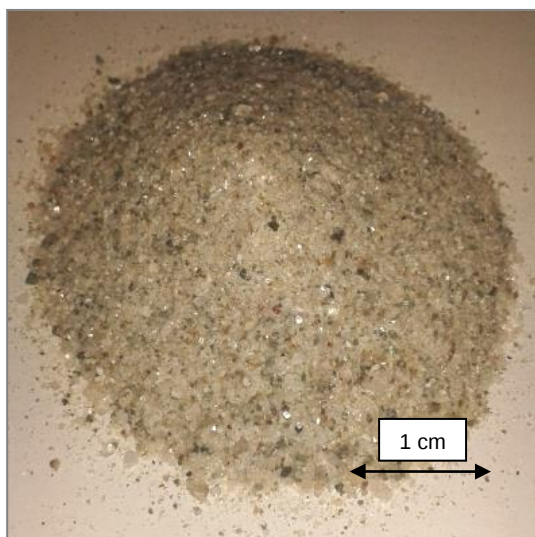


Figura 3.2(a) - Resíduo Grosso



Figura 3.2(b) - Resíduo Fino

Fonte: Autoria própria, 2015

3.2 Caracterização dos materiais para a produção das argamassas

3.2.1 Distribuição granulométrica do resíduo e da areia

Os ensaios de granulometria foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção da UFRN. Para a realização da análise granulométrica dos resíduos, tanto o grosso quanto o fino, utilizou-se o procedimento descrito na NBR NM 248 (ABNT, 2003) – Agregados - Determinação da Composição Granulométrica. O conjunto de peneiras utilizado foram as peneiras cujas malhas são 4,8mm, 2,4mm, 1,2mm, 0,6mm, 0,3mm, 0,15mm, e 0,075mm, com fundo coletor e tampa, de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003). Foi calculada a porcentagem dos materiais

retidos e acumulados em cada peneira. O módulo de finura foi calculado pela soma das porcentagens retidas acumuladas em massa do resíduo, nas peneiras da série normal, dividida por 100, com aproximação de 0,01. A dimensão máxima característica do resíduo correspondeu à abertura nominal, em mm, da malha da peneira da série normal ou intermediária na qual o resíduo apresentou uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa.

3.2.2 Fluorescência de raios-X (FRX) do resíduo

A fluorescência de raios-X é uma técnica não destrutiva que permite identificar os elementos presentes em uma amostra (análise qualitativa) assim como estabelecer a proporção (concentração) em que cada elemento se encontra presente na amostra. Esta análise foi necessária para permitir o conhecimento da composição química do resíduo estudado.

As análises de FRX foram realizadas no Laboratório de Difração e Fluorescência de raios-X, no Departamento de Engenharia de Materiais da UFRN. Foi utilizado o espectrômetro por fluorescência de raios-X do tipo EDX - 720, Shimadzu, em uma atmosfera a vácuo. Duas amostras do resíduo natural de scheelita foram submetidas ao ensaio, uma de granulometria grossa e outra fina.

3.2.3 Difração de raios-X (DRX) do resíduo

A análise de difração de raios-X permite a identificação mineral através da caracterização de sua estrutura cristalina e fez-se necessária para que além de caracterizar o material, fosse possível identificar alguma capacidade de atividade pozolânica através da presença de sílica amorfa. Dois tipos de amostras foram analisadas, uma do resíduo fino natural e a outra do resíduo grosso natural da scheelita. As amostras tinham granulometria inferior a 0,149 mm, (peneira ABNT n° 100) utilizando-se radiação Cu - K α , com tensão acelerada 40 kV e corrente de 30 mA, com varredura de 2 θ de 5° a 70° e velocidade de 5°/min. O equipamento utilizado foi de marca Shimadzu modelo XRD - 7000, localizado no Laboratório de Difração de raios-X do Departamento de Engenharia de Materiais da UFRN.

3.2.4 Ensaio de massa unitária do resíduo e da areia

Este ensaio seguiu as recomendações da NBR NM 45 (2006) - Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Foram analisados os seguintes materiais: areia natural disponível no Laboratório de Materiais de

Construção da UFRN, resíduo natural da scheelita nas granulometrias grossa, passante na peneira nº100, passante na peneira nº200 e passante na peneira nº325. Com relação a cal CH-I e ao cimento CP II-Z 32, os dados relativos a massa unitária foram fornecidos pelo fabricante.

3.2.5 Ensaio de massa específica do resíduo e da areia

Os ensaios para determinação da massa específica dos materiais seguiram os procedimentos descritos na NBR NM 52 (2009) e foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção da UFRN. As amostras analisadas foram a areia natural disponível no laboratório (mesma areia utilizada em todos os ensaios da pesquisa), resíduo natural da scheelita nas granulometrias grossa, passante na peneira nº100, passante na peneira nº200 e passante na peneira nº325. Da mesma forma como procedeu-se com relação ao Ensaio de Massa Unitária, a cal CH-I e o cimento CP II-Z 32, seus dados referentes à massa específica foram obtidos do fabricante.

3.2.6 Verificação da pozolanicidade do resíduo

Com o intuito de reduzir a granulometria do resíduo fino e verificar suas propriedades de pozolanicidade, realizou-se sua moagem em um moinho de bolas cerâmico. Este procedimento foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção da UFRN e o moinho utilizado foi um moinho de bolas SP Labor - rotação 150 RPM, rolo de 48cm, 220V com jarro para moinho de bolas em porcelana - marca Chiarotti, esmalte branco, 5 litros e esferas em porcelana sem esmalte - marca Chiarotti. Como não se tinha parâmetros para moagem deste resíduo, foram realizados vários períodos de moagem do resíduo natural fino para se obter uma finura próxima ao cimento NBR 11579 (2012). Na Tabela 3.1, observa-se a porcentagem de material retido na peneira 75 μm (nº 200), após cada período de moagem.

Tabela 3.1 – Moagem dos resíduos.

Execução do procedimento		Tempo (h)	Proporção em massa entre o resíduo e as bolas	Material retido (%)
1ª moagem	1ª tentativa	2,0	1,87	40,12
	2ª tentativa	7,0	1,20	35,00
	3ª tentativa	5,0	0,50	22,54
	4ª tentativa	5,0	0,49	16,22
	5ª tentativa	5,0	0,48	11,96
2ª moagem	1ª tentativa	6,6	0,50	17,00
	2ª tentativa	1,8	0,41	15,00
	3ª tentativa	4,8	0,49	11,92
3ª moagem	1ª tentativa	13,8	0,50	14,00
	2ª tentativa	3,3	0,49	11,40

Fonte: Autoria própria, 2016.

Após os procedimentos de moagem, foram realizados ensaios para verificação do Índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias e Atividade pozolânica com a cal aos sete dias, de acordo com a NBR 5752 (2014) Materiais pozolânicos - Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias e NBR 5751 (2015) Materiais pozolânicos - Determinação da atividade pozolânica com cal aos sete dias.

Os materiais ensaiados foram os resíduos da scheelita, nas granulometrias grossa (módulo de finura = 1,73) e fina (módulo de finura = 0,08). Sendo que o resíduo fino foi previamente passado pela peneira de abertura 0,149mm, (ABNT nº 100) para retirada de algumas raízes. Após a retirada das raízes, o resíduo fino foi moído para diminuição da sua granulometria e passado nas peneiras de número 200 (abertura 0,075mm) e 325 (abertura 0,045mm).

Para o ensaio de verificação do Índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias, foi necessário verificar se as argamassas produzidas com resíduo não possuíam diferença entre seus índices de consistência em relação a argamassa de referência, maior que 10mm para mais ou para menos, o que determinaria a utilização ou não de aditivos superplastificantes.

Também para o ensaio de verificação da Atividade pozolânica com a cal aos sete dias foi necessário a determinação do índice de consistência das argamassas, pois a quantidade de água que deveria compor a mistura de cada argamassa

deveria ser a quantidade de água que correspondesse a um índice de consistência de $225 \pm 5\text{mm}$ como recomenda a NBR 5751 (2015).

Para o ensaio objetivando a determinação da atividade pozolânica com a cal aos sete dias (IAP), foram produzidas quatro argamassas de acordo com as granulometrias estudadas do resíduo, e para cada argamassa foram moldados três corpos-de-prova. A mistura dos materiais e a moldagem dos corpos-de-prova seguiram as recomendações da NBR 7215 (1996). A cura dos corpos-de-prova foi realizada nos próprios moldes que foram mantidos vedados para impedir a perda de umidade e o tempo de cura foi de sete dias. Sendo que nas primeiras $24 \pm 2\text{h}$, permaneceram a uma temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ e, nas $144 \pm 2\text{h}$ posteriores foram mantidos à temperatura de $55 \pm 2^\circ\text{C}$ até $4 \pm 0,5\text{h}$ antes do ensaio de ruptura à compressão.

Os materiais para a execução do ensaio de determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias (IDC), foi cimento Portland CP II-F 32, areia normal e água. Foram moldados quatro corpos-de-prova cilíndricos de 50mm de diâmetro e 100mm de altura, como recomenda a NBR 5752 (2014). A mistura dos materiais, moldagem dos corpos-de-prova, condições de cura e determinação da carga de ruptura à compressão seguiram as recomendações da NBR 7215 (1996).

3.3 Formulação das argamassas

Para a produção das argamassas foram definidos dois traços, sendo um deles composto de cimento e cal e outro somente utilizando o cimento como aglomerante. Foi mantida a mesma proporção de aglomerante para os dois traços. O traço com cal e cimento, adotado, foi na proporção de 1:1:6 (em volume) por ser uma formulação usual, para fabricação de argamassas, utilizada no mercado da construção civil e por muitos pesquisadores em trabalhos científicos, dentre eles: Heineck e Kazmierczak (2013), Guacelli, Risson e Carbonari (2015), Pivotto e Abreu (2015), e Palomar, Barluenga e Puentes (2015). O segundo traço definido foi de 1:3 (em volume), sem utilização da cal. Sendo também um traço usual para utilização em pesquisas científicas sobre argamassas, utilizado por muitos autores como: Fontes *et al* (2013), Fontes *et al* (2016), Argane *et al* (2015), Ouda e Abdel-Gawwad (2015), e Naceri e Hamina (2009).

Os traços escolhidos além de manterem a mesma proporção de aglomerante e agregado, são traços básicos que dão partida para as demais variações de traços. Os traços foram dosados em volume para manter uma veracidade dos resultados com o emprego na prática, visto que nos canteiros de obras, as dosagens ocorrem em volume. E, apesar do traço 1:3 não ser um traço usual em canteiros de obras para fabricação de argamassas de revestimento, foi necessário o estudo do comportamento do resíduo em formulações unicamente com cimento para fins de conhecimento e comparação. O traço 1:1:6 foi denominado ACC e o traço 1:3 de AC.

Os materiais utilizados na produção das argamassas foram cimento, cal, areia, resíduo de scheelita e água da concessionária local. O cimento utilizado foi o CP II-Z 32 da marca Elizabeth. O CP II-Z 32 é um cimento indicado para fabricação de argamassas de revestimento e um cimento muito utilizado no mercado local. A cal utilizada foi a CH-I da marca Norte Nordeste. É um tipo de cal com menor quantidade de impurezas e muito utilizada para fabricação de argamassas. A areia empregada na confecção das argamassas foi uma areia de granulometria média comercializada no mercado da grande Natal/RN.

O resíduo utilizado para substituir o agregado na produção das argamassas, foi o resíduo natural grosso da scheelita sem qualquer tipo de beneficiamento para que fosse verificada a possibilidade de uso desse material, exatamente como se encontra estocado. Além disso, é estimado que a quantidade de resíduo grosso acumulada seja o dobro da quantidade do resíduo fino e a realização de qualquer beneficiamento implicaria em custos adicionais ao processo. Sua distribuição granulométrica também é próxima à distribuição granulométrica de uma Areia Normal NBR 7214 (2015).

Nas Tabelas 3.2, 3.3 e 3.4, encontra-se a caracterização da cal e do cimento fornecidos pelos fabricantes.

Tabela 3.2 – Caracterização da Cal CH-I.

Caracterização física e química	%
Óxido de cálcio de magnésio (não voláteis)	98,31
Óxido de magnésio (após calcinação)	0,37
Dióxido de carbono	1,96
Material retido na peneira com abertura de malha de 600µm	-
Material retido na peneira com abertura de malha de 75µm	1,83

Fonte: Empresa CAL Norte Nordeste, 2015.

Tabela 3.3 – Caracterização química do cimento CP II-Z 32.

Caracterização química				
Ensaio	NBR nº	Unidade	Resultado	Especificação da NBR
PF - Perda ao Fogo	NM 18/12	%	5,97	≤ 6,50
RI - Resíduo Insolúvel	NM 15/12	%	8,95	≤ 16,0
SO ₃ - Anidrido Sulfúrico	14656/01	%	3,02	Não Aplicável
MgO - Oxido de Magnésio	14656/01	%	3,96	≤6,50

Fonte: Elizabeth Cimentos, 2015.

Tabela 3.4 – Caracterização física do cimento CP II-Z 32.

Caracterização física e mecânica				
Ensaio	NBR nº	Unidade	Resultado	Especificação da NBR
Finura na peneira 0,075mm (#200)	12826/14	%	2,5	≤ 12,0
Finura na peneira 0,044mm (#325)	12826/14	%	8,8	Não aplicável
Área Específica (Blaine)	16372/15	cm ² /g	4240	≥ 2600
Massa Específica	NM 23/01	g/cm ³	3,06	Não aplicável
Água da Pasta Consistência Normal	NM 43/03	%	26,5	Não aplicável
Início de Pega	NM 65/03	h:min	02:25	≥ 1 h
Fim de Pega	NM 65/03	h:min	03:25	≤ 10 h
Expanssibilidade a Quente	11582/12	mm	0,1	≤ 5

Fonte: Elizabeth Cimentos, 2015.

Para cada traço, foram fabricadas argamassas de referência, ou seja, sem a utilização do resíduo. Os traços foram calculados em volume. E os teores de

substituição do agregado por resíduo foram de 25%, 50%, 75% e 100%. A nomenclatura adotada para as argamassas foi de “ACC” para as argamassas que contêm cimento e cal em seus traços e de “AC” para as argamassas que contêm apenas o cimento como aglomerante em seus traços. Após a sigla de AC ou ACC, é colocado o número que representa o teor de substituição do agregado pelo resíduo em porcentagem, por exemplo: AC25 significa argamassa de cimento e areia, com 25% de substituição da areia pelo resíduo. Quando há a letra R ao invés de um número na sigla, isto significa que é a argamassa de referência, sem utilização de resíduo em seu traço. Na Tabela 3.5 constam as proporções dos materiais utilizados para cada traço e suas denominações.

Tabela 3.5 – Traços utilizados na pesquisa.

Traço (em volume)	Traço com substituições (em volume)	Composição do traço	Teor de substituição do agregado	Nomenclatura
1:1:6	1:0,57:9,34:0,00	cimento : cal : areia : resíduo	0%	ACCR
	1:0,57:7,01:2,62		25%	ACC25
	1:0,57:4,67:5,24		50%	ACC50
	1:0,57:2,34:7,86		75%	ACC75
	1:0,57:0,00:10,49		100%	ACC100
1:3	1 : 4,67 : 0,00	cimento : areia : resíduo	0%	ACR
	1 : 3,50 : 1,31		25%	AC25
	1 : 2,34 : 2,62		50%	AC50
	1 : 1,17 : 3,93		75%	AC75
	1 : 0,00 : 5,24		100%	AC100

Fonte: Autoria própria, 2015.

3.4 Ensaios das argamassas no estado fresco

3.4.1 Ensaio de consistência das argamassas

A realização deste ensaio se justifica para determinar a quantidade de água necessária para a produção das argamassas, fixado um Índice de consistência em $260 \pm 5\text{mm}$, conforme recomendações da NBR 13276 (2005) - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Este ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção Civil da UFRN e seguiu todos os procedimentos indicados na referida norma.

3.4.2 Densidade de massa e Teor de ar incorporado

Este ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção da UFRN e seguiu os procedimentos indicados pela NBR 13278 (2005) - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Este ensaio foi realizado para todas as formulações de argamassas da pesquisa.

3.4.3 Retenção de água das argamassas

Para a realização deste ensaio, foram seguidos os procedimentos previstos pela NBR 13277 (1995) que consiste em determinar a quantidade de água retirada de uma porção de argamassa contida em um molde cilíndrico de aço por um conjunto com 12 discos de papel-filtro de filtração média. Este ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção Civil da UFRN.

3.5 Ensaios das argamassas no estado endurecido

3.5.1 Resistência à compressão e à tração na flexão

Estes ensaios foram realizados para todas as formulações de argamassas que compõem esta pesquisa e as idades em que foram realizados foram de 7 e 28 dias, conforme as recomendações da NBR 13279 (2005). Para cada formulação de traço, foram ensaiados 6 corpos-de-prova prismáticos (4cm x 4cm x 16cm) para resistência à tração na flexão, e para a realização do ensaio de resistência a compressão, utilizou-se as metades dos corpos-de-prova ensaiados no ensaio de resistência a tração na flexão.

As cargas aplicadas foram de $50 \pm 10\text{N/s}$ até a ruptura dos corpos-de-prova para o ensaio de resistência à tração na flexão e $500 \pm 50\text{N/s}$ para resistência à compressão. Ambos os ensaios foram realizados em um equipamento da marca Shimadzu, modelo Autograph AG-X, localizado no Laboratório de Metais e Ensaios Mecânicos, vinculado ao Departamento de Engenharia de Materiais, localizado no Núcleo Tecnológico da UFRN.

3.5.2 Densidade de massa no estado endurecido

Para realização deste ensaio, seguiu-se as prescrições contidas na NBR 13280 (2005) - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos -

Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. O ensaio foi realizado aos 28 dias e foram ensaiados 3 corpos-de-prova prismáticos (4cm x 4cm x 16cm) para cada formulação de traço da pesquisa.

3.5.3 Absorção de água por imersão e Índice de vazios

Este ensaio seguiu todos os procedimentos descritos pela NBR 9778 (2009) - Argamassa e concreto endurecido - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Para o ensaio, foram moldados 3 corpos-de-prova prismáticos (4cm x 4cm x 16cm) para cada uma das formulações de traço estudadas. O ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção da UFRN.

3.5.4 Absorção de água por capilaridade e Coeficiente de capilaridade

Este ensaio foi realizado aos 28 dias de idade dos corpos-de-prova. Foram ensaiadas 3 amostras de cada formulação de traço da pesquisa, corpos-de-prova de 4cm x 4cm x 16cm. O ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção Civil da UFRN e os procedimentos adotados pela NBR 15259 (2005) - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade.

3.5.5 Módulo de elasticidade dinâmico

Os procedimentos adotados para realização deste ensaio seguiram as prescrições contidas na NBR 15630 (2009) - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sônica. O ensaio foi realizado em 03 corpos-de-prova, para cada formulação de traço, aos 28 dias de idade. Foi utilizado o equipamento modelo Tico da marca Proceq, com transdutores de 54 KHz e forma direta de leitura. O ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção da UFRN.

4 Resultados e Discussões

4.1 Ensaios preliminares de caracterização dos materiais

4.1.1 Distribuição granulométrica do resíduo e da areia

Os ensaios de caracterização granulométrica do resíduo mostraram que o resíduo natural fino possui uma predominância de grãos com diâmetros menores que 0,15mm. Já o resíduo natural grosso possui granulometria próxima à da areia natural utilizada na pesquisa, o que pode ser confirmado por seus módulos de finura semelhantes, como se pode observar na Tabela 4.1. Também é possível observar a semelhança entre o resíduo natural grosso e a areia natural, pela porcentagem retida nas peneiras n° 30, n° 50 e n° 100 conforme está em destaque na Tabela 4.1. A distribuição granulométrica do resíduo natural grosso também é mais próxima da distribuição granulométrica de uma Areia Normal NBR 7214 (2015). Por esta semelhança entre o resíduo natural grosso e a areia natural é que ele foi utilizado na pesquisa em substituição a areia natural.

Tabela 4.1 – Caracterização granulométrica.

N° da peneira	Peneira (mm)	Scheelita natural fina		Scheelita natural grossa		Areia natural	
		% retida	% retida acumulada	% retida	% retida acumulada	% retida	% retida acumulada
4	4,8	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
8	2,4	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	0,8%	0,8%
16	1,2	0,0%	0,0%	5,4%	5,5%	10,1%	10,9%
30	0,6	0,4%	0,4%	20,8%	26,3%	21,4%	32,3%
50	0,3	0,7%	1,1%	31,2%	57,4%	33,5%	65,9%
100	0,15	5,7%	6,8%	26,1%	83,6%	26,2%	92,0%
200	0,075	42,6%	49,4%	13,9%	97,4%	6,7%	98,8%
Fundo	0	50,6%	100,0%	2,6%	100,0%	1,2%	100,0%
	Total	100,0%	-	100,0%	-	100,0%	-
DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA:		0,30		2,40		2,40	
MÓDULO DE FINURA:		0,08		1,73		2,02	

Fonte: Autoria própria, 2016.

É esperado que o resíduo natural grosso por apresentar um módulo de finura ainda menor que a areia natural, influencie em um maior consumo de água nas amostras. Por ter uma concentração granulométrica na faixa entre 0,6mm e 0,2mm,

o resíduo natural grosso e a areia natural são considerados de granulometria média. O gráfico com a curva granulométrica pode ser observado através da Figura 4.1.

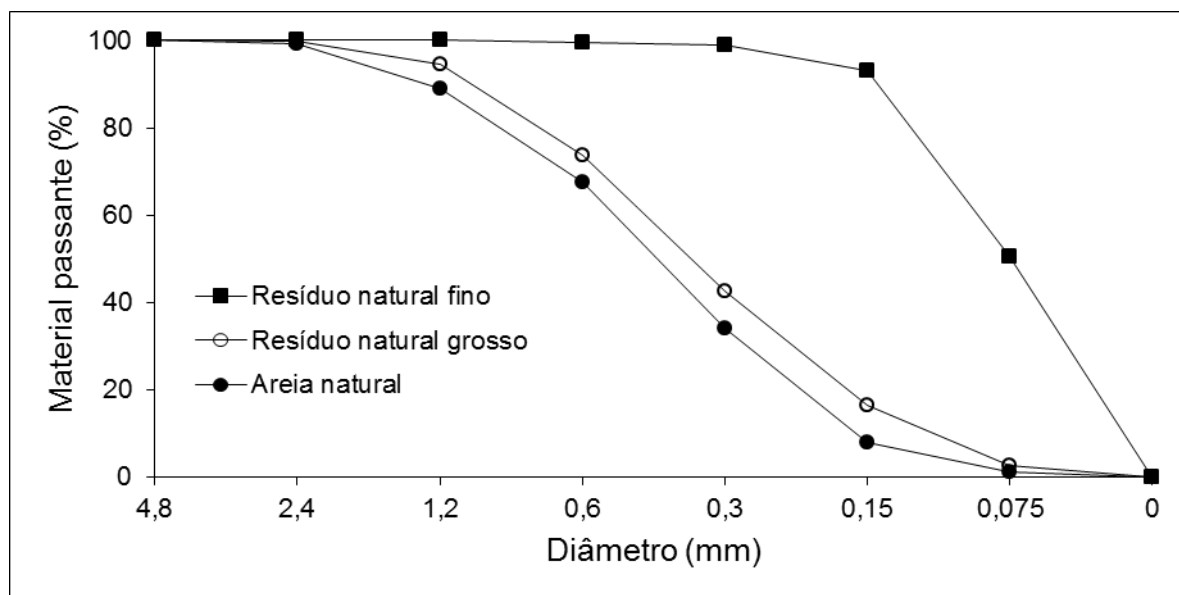


Figura 4.1 – Curva de distribuição granulométrica dos agregados.
Fonte: Autoria própria, 2016.

De acordo com Isaia (2007), a retração plástica é influenciada também pelo teor de materiais pulverulentos (grãos com tamanho inferior à 0,075mm). A scheelita natural grossa possui maior teor de finos que a areia natural utilizada nesta pesquisa, o que poderia ser um indicador que as argamassas produzidas com o resíduo apresentassem fissuras por retração plástica, porém não foi observada a presença de fissuras nos corpos-de-prova. Este fato pode ser explicado pela distribuição granulométrica do resíduo natural grosso ser mais contínua que a distribuição granulométrica da areia.

Ainda segundo o mesmo autor, o maior teor de finos acarretaria uma melhoria na trabalhabilidade das argamassas produzidas com o resíduo, o que pode ser verificado, pois a trabalhabilidade não foi diminuída, mesmo com o resíduo natural grosso possuindo massa unitária e massa específica maiores que a areia.

A resistência mecânica e a aderência são propriedades que poderiam ser prejudicadas pelo teor de finos. Porém a distribuição granulométrica contínua do resíduo natural grosso propiciou melhorias na resistência mecânica, devido a um melhor empacotamento dos grãos. E com relação à propriedade de aderência, o autor afirma que, para obtenção de bons resultados de aderência, a areia deve possuir uma distribuição granulométrica contínua e quanto maior o módulo de finura

das areias, desde que produzam argamassas trabalháveis, maior será a resistência de aderência obtida.

4.1.2 Fluorescência de raios-X (FRX) do resíduo de scheelita

Os resultados dos ensaios de fluorescência de raios-X mostram coerência com os resultados anteriores do mesmo resíduo encontrados na bibliografia científica, em Paiva (2013) e Gerab (2014), com a predominância das quatro principais componentes, variando apenas a sua porcentagem, são eles: Óxido de Cálcio, Dióxido de Silício, Óxido de Ferro e Óxido de Alumínio.

Para que o resíduo pudesse ser classificado como material pozolânico, como prescreve a NBR 12653 (2014), deveria apresentar um somatório de Dióxido de Silício (SiO_2), Óxido de Ferro (Fe_2O_3) e Óxido de Alumínio (Al_2O_3) maior que 50%, porém em nenhuma das amostras foi alcançado esse percentual, como pode-se observar através da Tabela 4.2. Porém esses componentes são semelhantes a composição do clínquer, o que sugere que algum processo de queima ou beneficiamento possa originar um aglomerante hidráulico. A análise de fluorescência de raios-X ainda mostra que o teor de óxido de silício encontra-se abaixo do mínimo exigido (44%) para que seja considerada uma pozolana, segundo Cincotto e Kaupatez (1988). E o teor de K_2O é inferior a 5%, encontrando-se dentro do intervalo considerado adequado como pozolana (MEHTA, 1994).

Tabela 4.2 – Resultado da Fluorescência de raios-X (FRX) do resíduo.

Composição	Resíduo natural Grosso (%)	Resíduo natural Fino (%)
CaO	77,38	61,51
SiO_2	14,44	22,65
Fe_2O_3	3,59	6,59
Al_2O_3	3,46	7,45
K_2O	0,44	0,82
MnO	0,31	0,47
SO_3	0,17	0,22
Yb_2O_3	0,14	0,00
ReO_2	0,03	0,07
HgO	0,02	0,00
WO_3	0,02	0,19
NiO	0,00	0,03

Fonte: Autoria própria, 2016.

4.1.3 Difração de raios-X (DRX) do resíduo de scheelita

Segundo os difratogramas das Figuras 4.2 e 4.3, observam-se picos de fase cristalina da sílica. Para que existam propriedades pozolânicas no resíduo, seria necessária a presença de sílica amorfa.

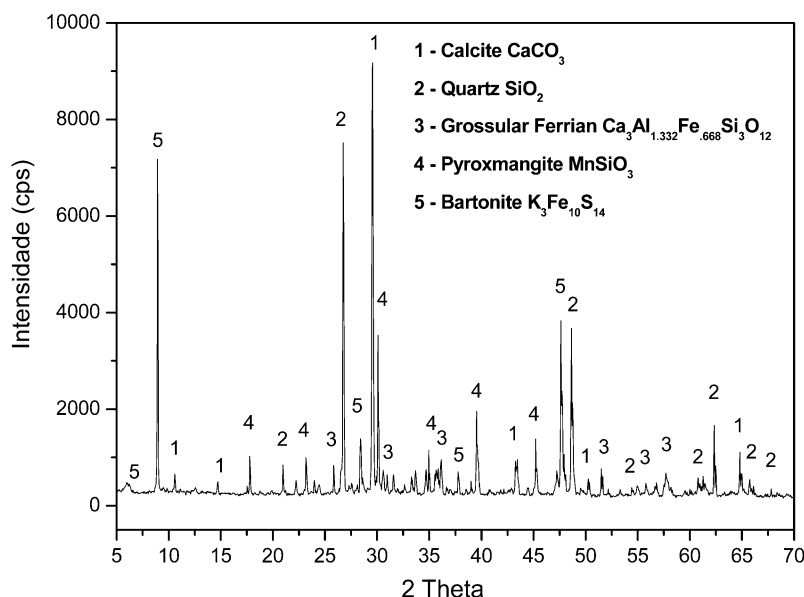


Figura 4.2 – Resultado da Difração de raios-X (DRX) do resíduo fino.
Fonte: Autoria própria, 2016.

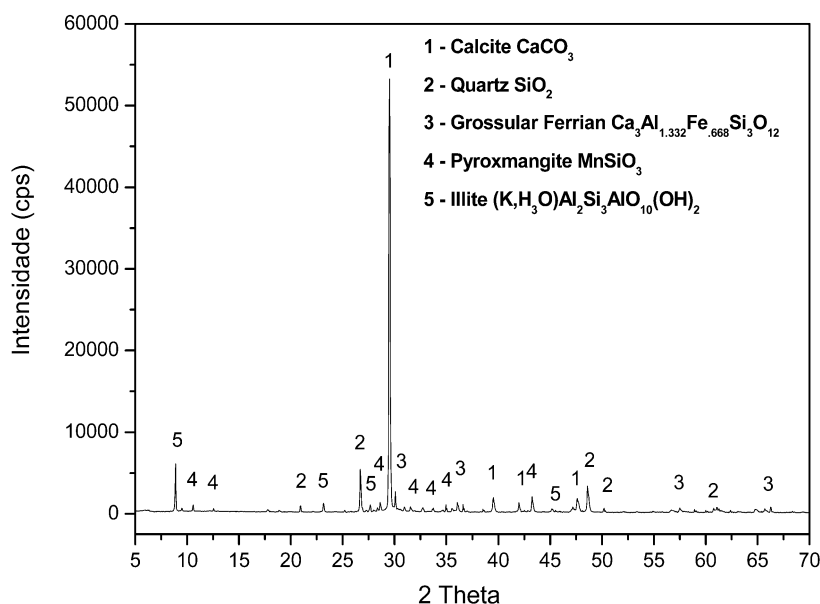


Figura 4.3 – Resultado da Difração de raios-X (DRX) do resíduo grosso.
Fonte: Autoria própria, 2016.

Observando os resultados da Difração de raios-X (DRX), é possível verificar sua coerência com a Fluorescência de raios-X (FRX) e com resultados sobre o

mesmo resíduo encontrados na bibliografia científica, em Paiva (2013) e Gerab (2014).

Em ambos os difratogramas é possível observar a semelhança entre as substâncias encontradas por se tratar de um mesmo material. Porém é possível observar uma diferença com relação a menor intensidade e maior alargamento dos picos da Figura 4.2 em relação à Figura 4.3. Isto ocorre porque o resíduo fino passa pelo processo de moagem para diminuição de sua granulometria e isso influencia sua composição química.

Os dois difratogramas apresentam 4 fases em comum que são CaCO_3 , SiO_2 , $\text{Ca}_3\text{Al}_{1.332}\text{Fe}_{0.668}\text{Si}_3\text{O}_{12}$ e MnSiO_3 . Observa-se que a Calcita (CaCO_3) e o Quartzo (SiO_2) são as fases cristalinas predominantes corroborando com os resultados apresentados na análise química por fluorescência de raios-X.

4.1.4 Ensaio de massa unitária e massa específica

Os resultados obtidos sobre massa unitária e massa específica dos materiais utilizados nesta pesquisa constam na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Resultados sobre Massa Unitária e Específica dos materiais.

Material	Massa unitária (g/cm ³)	Massa específica (g/cm ³)
Resíduo natural grosso	1,70	2,83
Resíduo passante na peneira nº100	1,34	2,93
Resíduo passante na peneira nº200	1,11	2,95
Resíduo passante na peneira nº325	0,96	2,86
Areia natural	1,51	2,68
Cal CH-I	0,55	2,24
Cimento CP II-Z 32	0,97	3,06

Fonte: Autoria própria, 2016.

A análise dos resultados mostra que o resíduo natural grosso possui tanto sua massa específica quanto sua massa unitária maiores que a areia natural, o que pode ocasionar em densidades de massa das amostras com resíduo maiores que as

amostras de referência. Os resultados sobre o cimento e a cal foram fornecidos pelos seus respectivos fabricantes.

A massa específica do agregado é diretamente proporcional ao teor de finos do material e inversamente proporcional à porosidade da argamassa. A análise dos resultados mostra que o resíduo natural grosso possui sua massa específica maior que da areia natural, o que se representa um maior teor de finos, confirmando o resultado obtido pela análise granulométrica. O maior teor de finos no resíduo natural grosso pode resultar em argamassas com menor porosidade do que se fossem fabricadas com o agregado natural.

4.1.5 Verificação da pozolanicidade do resíduo

Inicialmente, a fim de caracterizar e conhecer melhor o resíduo, foram realizados testes de pozolanicidade do resíduo com a cal e índices de desempenho com o cimento. Seus resultados são mostrados nas Tabelas 4.4 e 4.5.

Tabela 4.4 – Resultado do Teste de Pozolanicidade do resíduo com a cal.

Resistência à compressão das argamassas com resíduo (MPa)			
Resíduo natural grosso	Resíduo passante na peneira nº100	Resíduo passante na peneira nº200	Resíduo passante na peneira nº325
0,033	-	0,290	-

Fonte: Autoria própria, 2016.

Os ensaios não mostraram resultados de pozolanicidade satisfatórios. Para o ensaio que determina a atividade pozolânica com a cal, duas formulações romperam-se facilmente na própria desmoldagem dos corpos-de-prova e apresentaram aspecto visual bastante frágil, foram as formulações com o resíduo passante na peneira nº100 e nº325. Os demais resultados que deveriam apresentar resistências à compressão mínimas de 6MPa conforme prescreve os requisitos físicos da NBR 12653 (2014) – Materiais Pozolânicos – Requisitos, não apresentaram resistências suficientes.

Tabela 4.5 – Resultado do Índice de Desempenho do resíduo com o cimento.

Resíduo natural grosso	Resíduo passante na peneira nº100	Resíduo passante na peneira nº200	Resíduo passante na peneira nº325
57,16%	63,15%	69,72%	71,33%

Fonte: Autoria própria, 2016.

Sobre o ensaio para determinação do Índice de Desempenho com o cimento Portland aos 28 dias, observam-se resultados abaixo do que prescreve a NBR 12653 (2014) – Materiais Pozolânicos – Requisitos que seriam Índices de no mínimo 90%. Porém observa-se que à medida que o resíduo utilizado aumentava sua finura, os seus índices aumentavam.

4.2 Ensaio das argamassas no estado fresco

4.2.1 Ensaio de consistência das argamassas

Os ensaios de consistência mostraram pequena variação entre os índices água/materiais secos para cada formulação e para o espalhamento requerido de $260 \pm 5\text{mm}$, conforme mostra a Tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Índices de consistência das argamassas.

Água / materiais secos - traço 1:1:6				
REF	ACC25	ACC50	ACC75	ACC100
0,1852	0,1802	0,1777	0,1780	0,1712
Água / materiais secos - traço 1:3				
REF	AC25	AC50	AC75	AC100
0,1667	0,1680	0,1649	0,1636	0,1666

Fonte: Autoria própria, 2016.

Ocorre uma variação de 0,014 entre o maior e o menor índice para as argamassas com cimento e cal e 0,0044 entre o maior e o menor índice para as argamassas utilizando apenas o cimento como aglomerante. Outro fato importante a se observar é que os índices para as argamassas com cimento e cal são maiores que os índices para as argamassas apenas com o cimento como aglomerante. Tal fato pode ser explicado devido ao aumento da superfície específica da fração aglomerante da mistura, visto que a cal possui maior finura que o cimento e consequentemente aumenta o consumo de água para uma mesma consistência.

4.2.2 Densidade de massa e Teor de ar incorporado

Os resultados deste ensaio podem ser observados nas Figuras 4.4 e 4.5 abaixo e seus valores mostrados na Tabela 4.7.

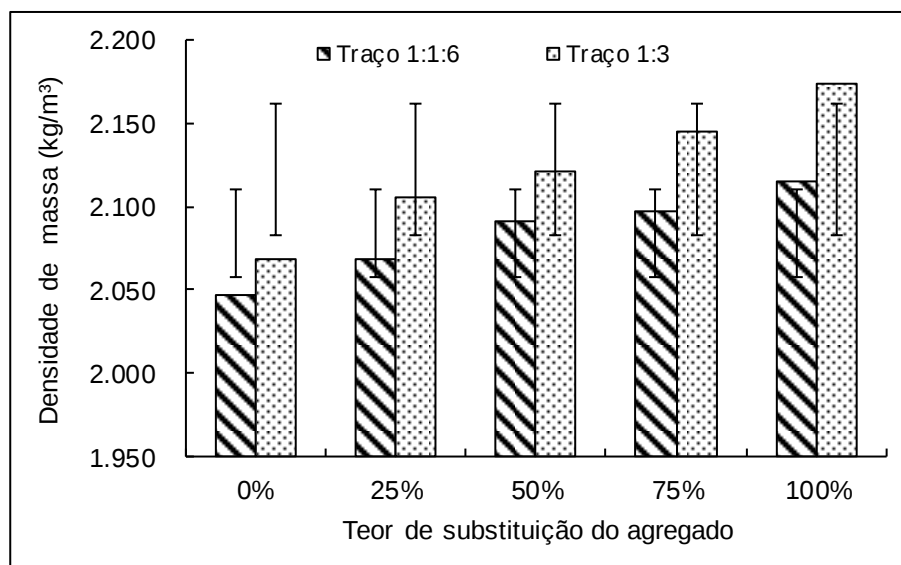


Figura 4.4 – Resultado do ensaio de densidade de massa no estado fresco.
Fonte: Autoria própria, 2016.

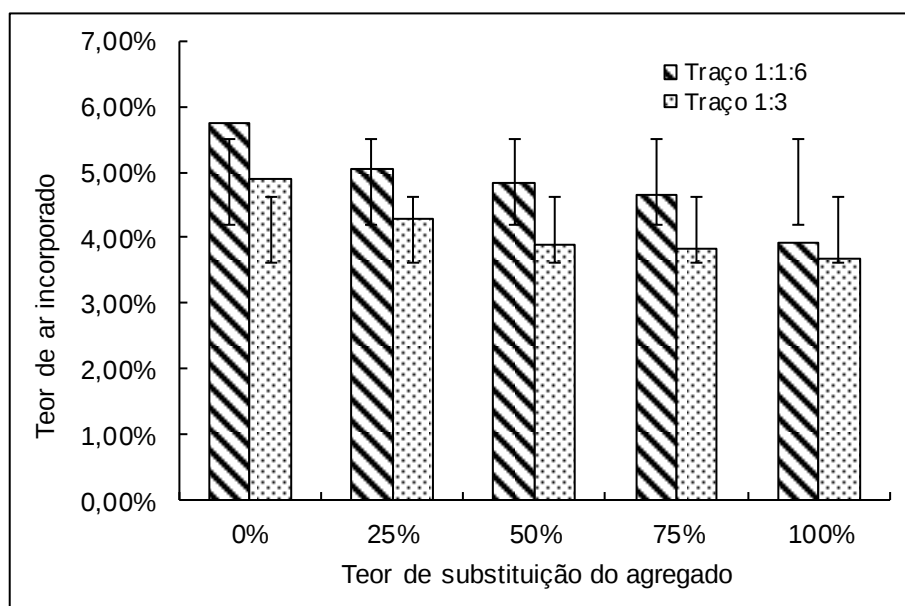


Figura 4.5 – Resultado do ensaio de teor de ar incorporado no estado fresco.
Fonte: Autoria própria, 2016.

Tabela 4.7 – Resultado do ensaio de Densidade de massa e Teor de ar incorporado.

Teor de substituição do agregado	Densidade de massa no estado fresco (kg/m³)		Teor de ar incorporado no estado fresco (%)	
	1:1:6	1:3	1:1:6	1:3
0%	2.046	2.068	5,75%	4,90%
25%	2.068	2.106	5,05%	4,30%
50%	2.092	2.121	4,83%	3,90%
75%	2.097	2.145	4,67%	3,84%
100%	2.115	2.173	3,92%	3,67%

Fonte: Autoria própria, 2016.

Os resultados demonstraram que as argamassas de traço 1:3 (cimento), apresentaram densidades maiores que as de traço 1:1:6 (cimento e cal), para todos os teores de substituição do agregado. Isto pode ser explicado devido o cimento ser um aglomerante de massa específica maior que a cal. Também é observado que o aumento do teor de substituição do agregado resulta num aumento da densidade de massa também para todas as formulações, isso se deve ao fato do agregado natural, a areia, possuir uma massa específica menor que o resíduo natural grosso.

Fontes *et al* (2016) trabalharam com argamassas produzidas com rejeitos de minério de ferro de represas de decantação e também constataram um aumento da densidade de massa com o aumento do teor de substituição do agregado em relação a argamassa de referência. O fato pode ser justificado, pois o resíduo utilizado possui uma quantidade maior de finos do que o agregado natural promovendo assim um melhor empacotamento dos grãos.

Assim como os resultados obtidos nesta pesquisa, Fontes *et al* (2016) também constataram que as argamassas de cimento tem maior densidade que as argamassas de cal para todos os teores de substituição. Ainda segundo os autores, as argamassas de cal tem maior teor de ar incorporado, confirmando os resultados obtidos nesta pesquisa.

Santamaría-Vicario *et al* (2015) em sua pesquisa com argamassas fabricadas com agregados de escória de aço também obtiveram maiores valores para a densidade de massa à medida que o teor de substituição do agregado natural pelo resíduo aumentava. Os autores explicaram este fato, devido ao aumento do empacotamento dos grãos com o aumento do teor de finos proporcionado pelo agregado residual e o valor da densidade absoluta do agregado mais alta que do agregado natural.

Fontes *et al* (2013) em seu trabalho com argamassas produzidas com rejeito de barragem de minério de ferro como agregado reciclado também confirmaram o comportamento apresentado nesta pesquisa.

Ainda como classificação, as argamassas estudadas estão dentro da faixa de densidade de massa normal, compreendida entre 2300 e 1400kg/m³ (CARASEK, 2010).

4.2.3 Retenção de água das argamassas

Esta propriedade da argamassa representa sua capacidade de reter a água de amassamento contra a sucção da base ou contra a evaporação. Sendo uma propriedade muito importante, pois retrata a adequada hidratação do cimento, o endurecimento da argamassa de forma gradativa, garantindo o desempenho esperado no revestimento ou no assentamento. Os resultados deste ensaio estão apresentados na Tabela 4.8 e Figura 4.6.

Tabela 4.8 – Resultado do ensaio de Retenção de água da argamassa.

Teor de substituição do agregado	Retenção de água da argamassa	
	Traço 1:1:6	Traço 1:3
0%	84%	80%
25%	86%	81%
50%	85%	83%
75%	88%	83%
100%	89%	85%

Fonte: Autoria própria, 2016.

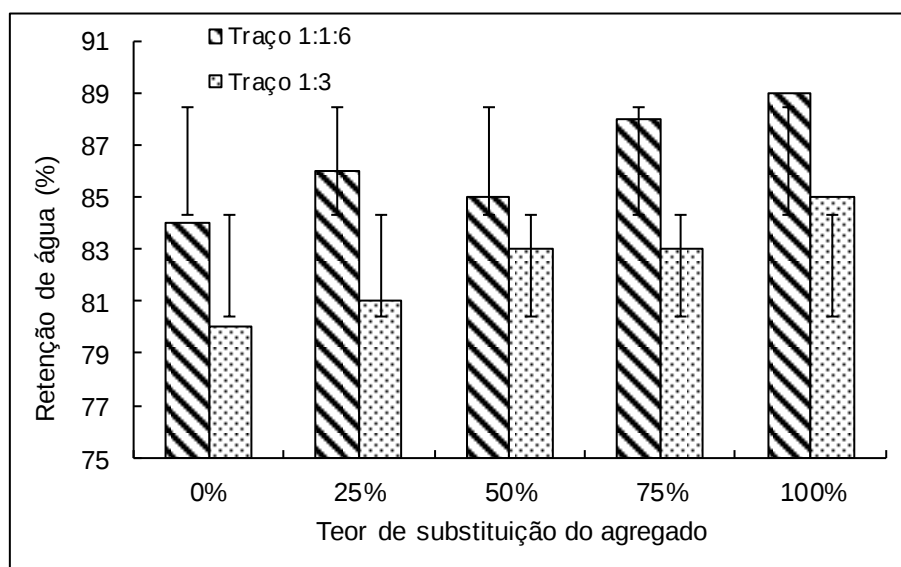


Figura 4.6 – Resultado do ensaio de Retenção de água da argamassa.

Fonte: Autoria própria, 2016.

A variação dos resultados de retenção de água encontrados foi pequena. Sendo que as argamassas que utilizaram a cal em sua composição apresentaram maiores valores de retenção de água do que as argamassas que utilizaram apenas cimento como aglomerante. Estes melhores resultados para o traço que contém cal

e cimento podem ser explicados pela maior superfície específica (finura) da cal que melhora a retenção de água na argamassa, adsorvendo a água e impedindo sua percolação através da massa sólida.

Santamaría-Vicario *et al* (2015) e Fontes *et al* (2013) realizaram pesquisas semelhantes com argamassas e puderam constatar que os traços compostos com agregado reciclado em substituição ao agregado natural, apresentaram valores de retenção de água superiores aos dos traços naturais.

4.3 Ensaio das argamassas no estado endurecido

4.3.1 Resistência à compressão aos 7 e 28 dias

Os valores de resistência à compressão das argamassas estão ligados à propriedade de durabilidade da mesma e servem como parâmetro de comparação entre os teores de substituição dos agregados pelo resíduo. Os resultados estão indicados na Tabela 4.9 e Figuras 4.7 e 4.8.

Tabela 4.9 – Resultado do ensaio de Resistência à Compressão da argamassa.

Teor de substituição do agregado	Resistência à compressão (MPa)			
	Traço 1:1:6		Traço 1:3	
	Aos 7 dias	Aos 28 dias	Aos 7 dias	Aos 28 dias
0%	2,02	2,35	7,24	7,42
25%	2,12	2,69	7,31	8,17
50%	2,14	2,76	7,94	8,40
75%	2,13	2,88	8,09	9,37
100%	2,16	2,92	8,10	9,82

Fonte: Autoria própria, 2016.

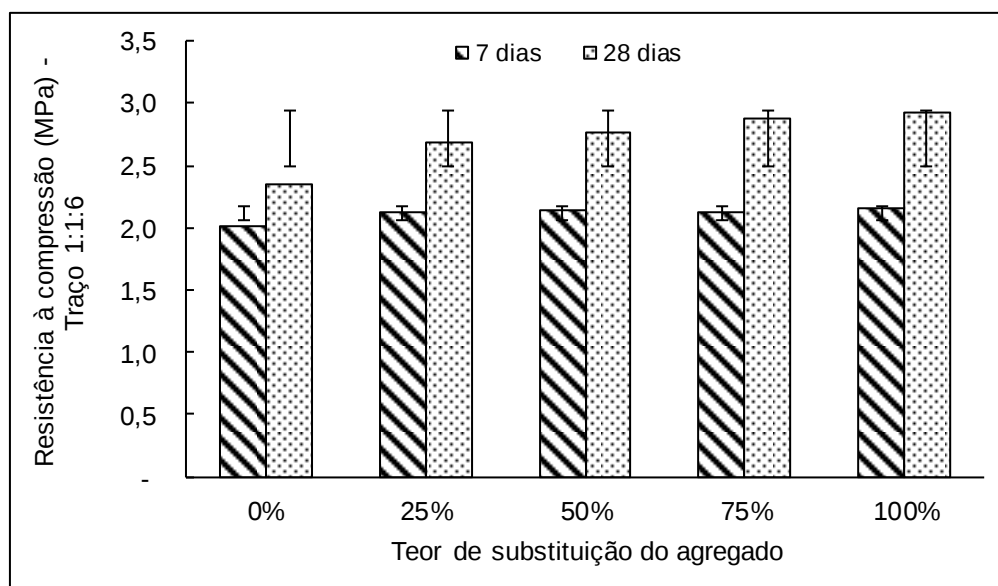


Figura 4.7 – Resultado do ensaio de Resistência à Compressão para o traço 1:1:6.
Fonte: Autoria própria, 2016.

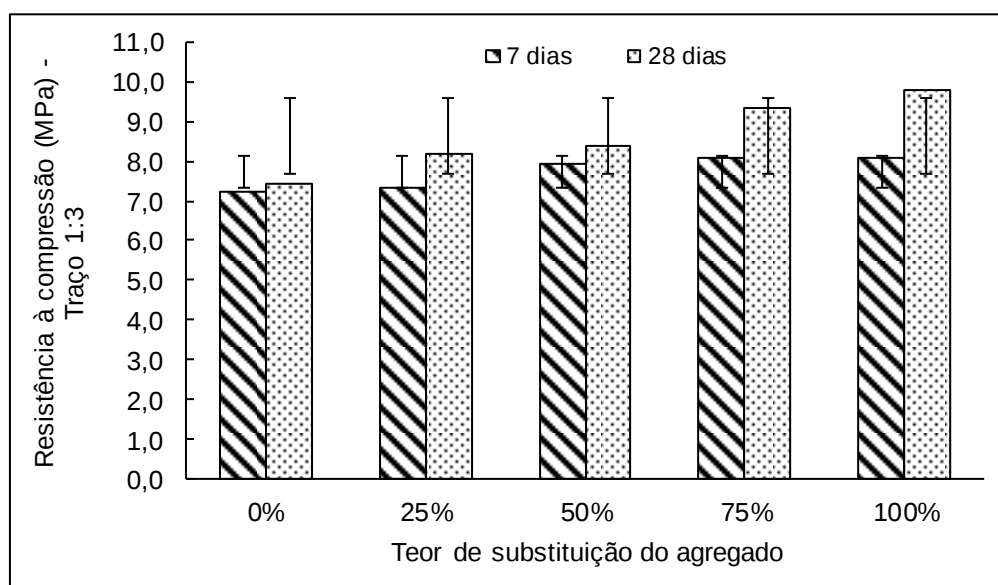


Figura 4.8 – Resultado do ensaio de Resistência à Compressão para o traço 1:3.
Fonte: Autoria própria, 2016.

Todas as argamassas estudadas tiveram melhores resultados que a argamassa de referência. Em seu trabalho com argamassas fabricadas com resíduos cerâmicos, Matias, Torres e Faria (2013) observaram comportamento semelhante. Segundo os autores, este comportamento denota alguma reatividade pozolânica do resíduo utilizado.

De forma geral, todas as resistências mecânicas à compressão aumentaram ao longo do período de cura. Sendo que este aumento foi mais representativo nas

argamassas com 100% de substituição do agregado natural pelo resíduo. Havendo um destaque maior para as argamassas fabricadas com traço de 1:3.

Higashiyama *et al* (2012) estudaram argamassas contendo agregados de resíduos cerâmicos. Também obtiveram resultados de resistência à compressão maiores do que a argamassa fabricada com agregado natural. Os autores concluíram que o resultado foi possível devido a quantidade de finos presente no resíduo maior que na areia, melhorando a coesão entre o agregado e a pasta de cimento e consequentemente sua estrutura de poros.

O aumento da resistência mecânica das argamassas ocorre juntamente com a diminuição do teor de ar incorporado para todos os traços. Tal comportamento também foi observado por Fontes *et al* (2016) em seu trabalho com argamassas para assentamento e revestimento produzidas com rejeitos de minério de ferro. Segundo estes autores, este comportamento indica uma matriz mais densa e, portanto, mais durável. Aliado a isto, os resultados do ensaio de Retenção de água da argamassa apresentaram valores iguais ou superiores a 80%, o que indica melhoria da aderência da argamassa ao substrato e uma melhor capacidade de absorver deformações, favorecendo ainda mais sua propriedade de durabilidade.

4.3.2 Resistência à tração na flexão aos 7 e 28 dias

Os resultados do ensaio de Resistência a Tração na flexão aos 7 e 28 dias estão apresentado na Tabela 4.10, Figuras 4.9 e 4.10.

Tabela 4.10 – Resultado do ensaio de Resistência à Tração da argamassa.

Teor de substituição do agregado	Resistência à tração (MPa)			
	Traço 1:1:6		Traço 1:3	
	Aos 7 dias	Aos 28 dias	Aos 7 dias	Aos 28 dias
0%	0,24	0,32	0,67	0,68
25%	0,24	0,31	0,70	0,76
50%	0,26	0,35	0,72	0,87
75%	0,27	0,38	0,76	0,90
100%	0,30	0,38	0,83	0,98

Fonte: Autoria própria, 2016.

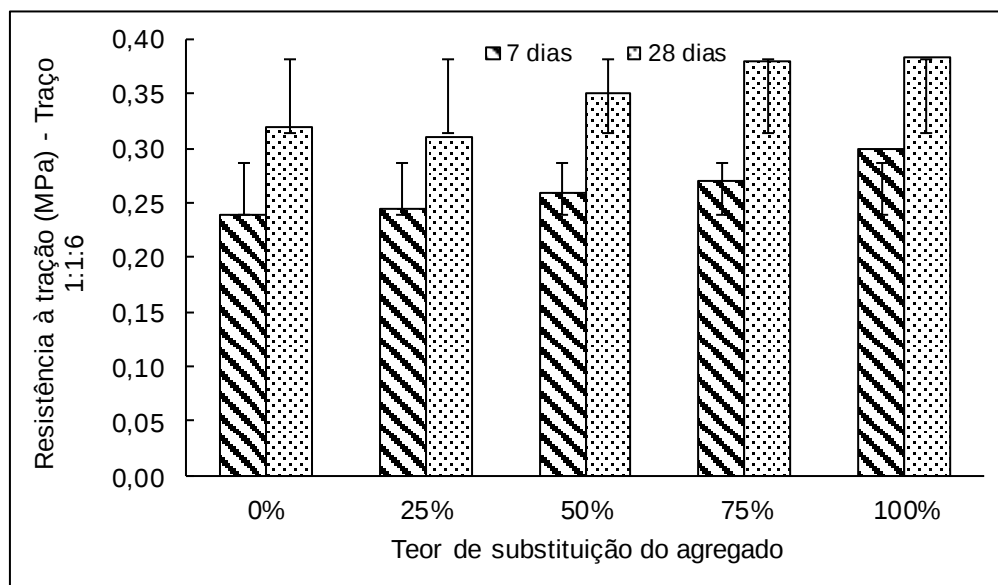


Figura 4.9 – Resultado do ensaio de Resistência à Tração para o traço 1:1:6.
Fonte: Autoria própria, 2016.

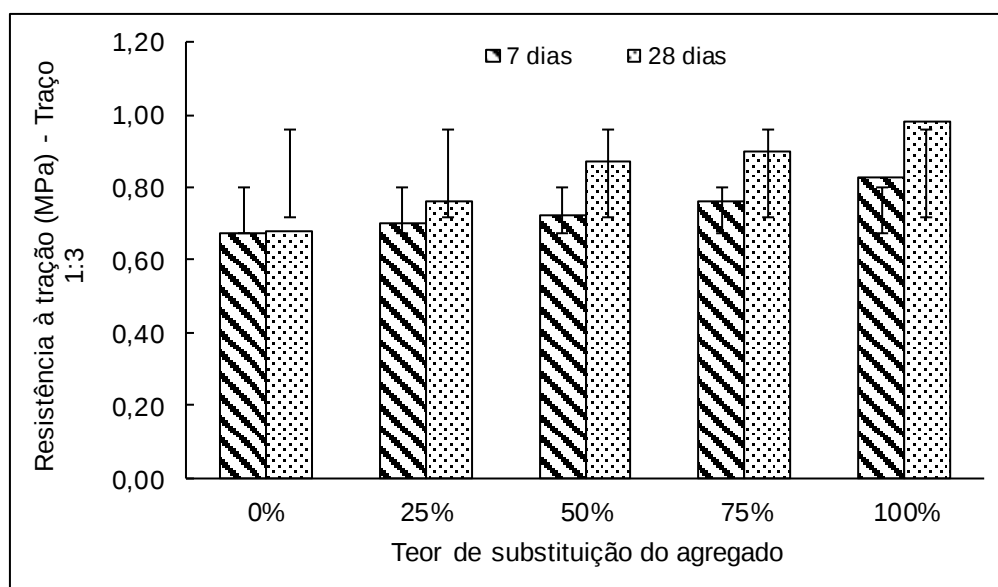


Figura 4.10 – Resultado do ensaio de Resistência à Tração para o traço 1:3.
Fonte: Autoria própria, 2016.

Assim como os resultados da resistência à compressão, todos os resultados da resistência a tração na flexão foram maiores do que a argamassa de referência fabricada com areia natural. Havendo um destaque maior para as argamassas fabricadas com 100% de substituição da areia pelo resíduo. Tal argamassa apresentou os melhores resultados.

Santamaría-Vicario *et al* (2015) em seu estudo sobre argamassas fabricadas com agregado de escória de aço também encontraram valores de resistência mecânica melhores para as argamassas fabricadas com o resíduo. Os autores justificam este comportamento devido ao maior teor de finos no agregado artificial e sua densidade absoluta maior que a areia, melhorando desta forma o empacotamento dos grãos, resultando em argamassas com melhor desempenho quando submetidas a flexão e a compressão.

Os resultados da resistência a tração seguem a mesma tendência da resistência a compressão, aumentando seus valores a medida que o teor de ar incorporado a mistura diminui e sua retenção de água no estado fresco aumenta.

4.3.3 Densidade de massa no estado endurecido

Os resultados obtidos do ensaio de densidade de massa no estado endurecido estão apresentados na Tabela 4.11 e Figura 4.11.

Tabela 4.11 – Resultado do ensaio de Densidade de massa no estado endurecido aos 28 dias.

Teor de substituição do agregado	Densidade de massa no estado endurecido (Kg/m ³)	
	1:1:6	1:3
0%	2.234,01	2.364,70
25%	2.246,10	2.370,00
50%	2.267,89	2.433,00
75%	2.314,84	2.462,07
100%	2.340,86	2.491,99

Fonte: Autoria própria, 2016.

A densidade de massa no estado endurecido manteve o padrão dos resultados da densidade de massa no estado fresco, sendo maiores para as argamassas de cimento (traço 1:3) e menores para as argamassas de cal e cimento (traço 1:1:6). Este comportamento é coerente com o resultado obtido nos ensaios de teor de ar incorporado e densidade de massa no estado fresco, onde foi possível observar que as argamassas de cal e cimento (traço 1:1:6) são mais porosas, com o teor de ar incorporado maior e, portanto, mais leves que as argamassa de cimento (traço 1:3).

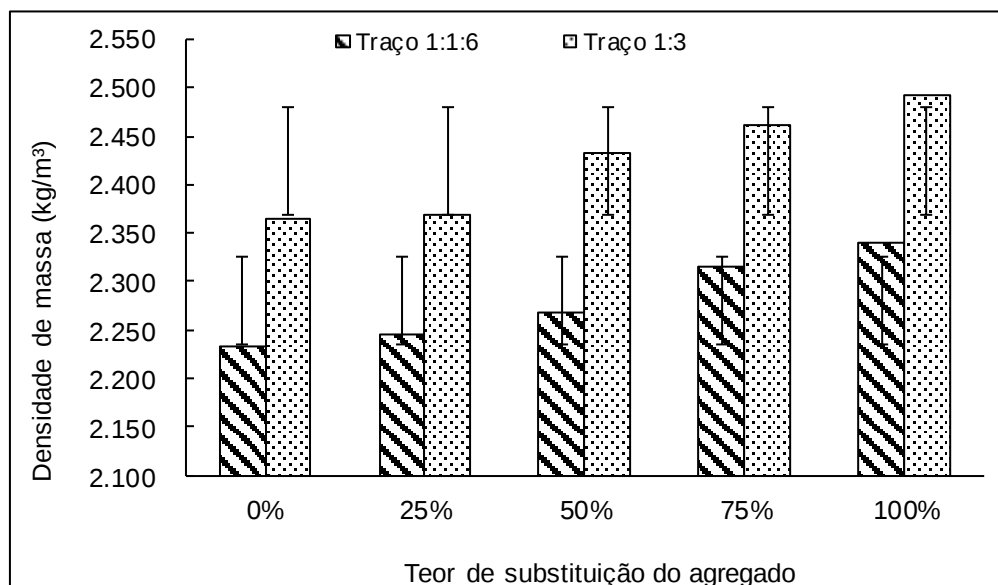


Figura 4.11 – Resultado do ensaio de Densidade de massa no estado endurecido aos 28 dias.

Fonte: Autoria própria, 2016.

É notório o crescente aumento da densidade de massa com o aumento do teor de substituição do agregado, para os dois traços, 1:3 e 1:1:6. Isto pode ser explicado porque o resíduo natural grosso possui massa específica maior que a areia natural.

Ouda e Abdel-Gawwad (2015) e Fontes *et al* (2016) estudaram argamassas para assentamento e revestimento produzidas com escória de ferro e rejeito de minério de ferro, respectivamente, em substituição ao agregado natural, a areia. Ambos puderam constatar resultado semelhante, ou seja, maior densidade de massa no estado endurecido para as argamassas fabricadas com os agregados artificiais. Os autores concluíram que este comportamento resulta do reduzido teor de ar aprisionado e maior densidade no estado fresco, devido à alta massa específica do agregado artificial em relação à areia.

Ainda segundo Fontes *et al* (2016), as argamassas de cimento apresentam-se mais densas que as argamassas de cal e cimento no estado endurecido, devido a reação do cimento com a água na mistura, pois esta reação produz uma maior quantidade de produtos, resultando assim em argamassas de maior densidade.

4.3.4 Absorção de água por imersão e Índice de vazios

As argamassas produzidas com resíduo, de forma geral, apresentaram maiores índices de absorção por imersão e índices de vazios. Os resultados para os ensaios de Absorção de água por imersão e Índice de vazios estão indicados na Tabela 4.12 e Figuras 4.12 e 4.13.

Tabela 4.12 – Resultado do ensaio de Absorção de água por imersão e Índice de vazios aos 28 dias.

Traço	Teor de substituição (%)	Índice de vazios (%)	Absorção (%)
1:1:6	0%	28,33%	15,34%
	25%	28,78%	15,42%
	50%	29,05%	15,34%
	75%	30,55%	16,21%
	100%	30,95%	16,27%
1:3	0%	25,42%	13,22%
	25%	26,42%	13,41%
	50%	26,11%	13,29%
	75%	27,40%	13,86%
	100%	27,92%	13,97%

Fonte: Autoria própria, 2016.

Os resultados deste ensaio, mostram que os índices de vazios aumentam à medida que a porcentagem de agregado natural é substituído por resíduo, indicando que as amostras com maior quantidade de resíduo possuem mais poros permeáveis que as amostras fabricadas com areia natural. A variação do índice de vazios com relação ao tipo de aglomerante foi muito pouco significativa. Ainda como era esperado, as argamassas que possuíam cal em sua composição apresentaram maiores índices de vazios, como mostra a Figura 4.12.

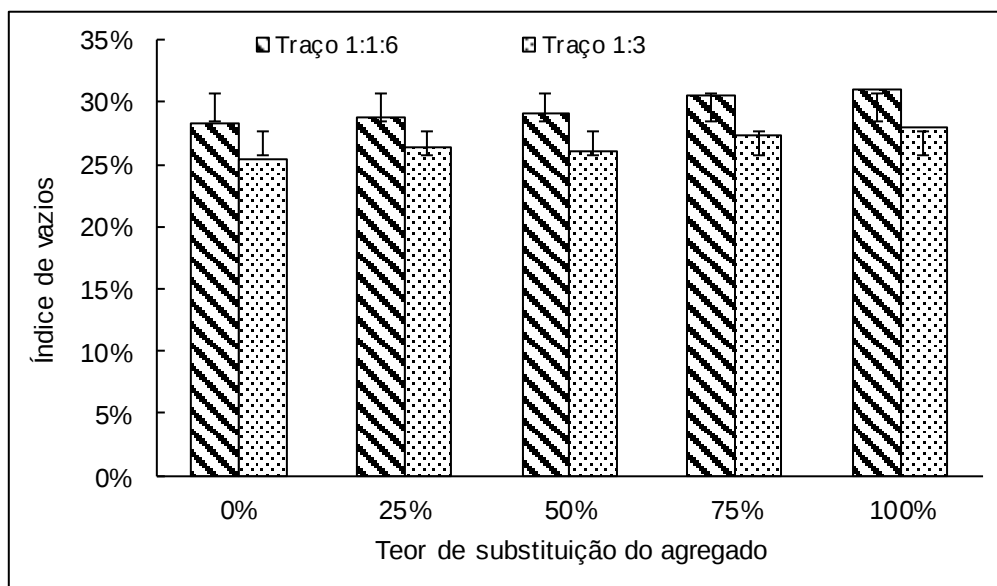


Figura 4.12 – Resultado do ensaio de Índice de vazios aos 28 dias.
Fonte: Autoria própria, 2016.

Na Figura 4.13, observa-se a taxa de absorção de água por imersão, que segue a mesma tendência do gráfico sobre o índice de vazios, mostrando que as argamassas compostas de cal e cimento como aglomerante absorveram mais água que as argamassas compostas de apenas cimento como aglomerante.

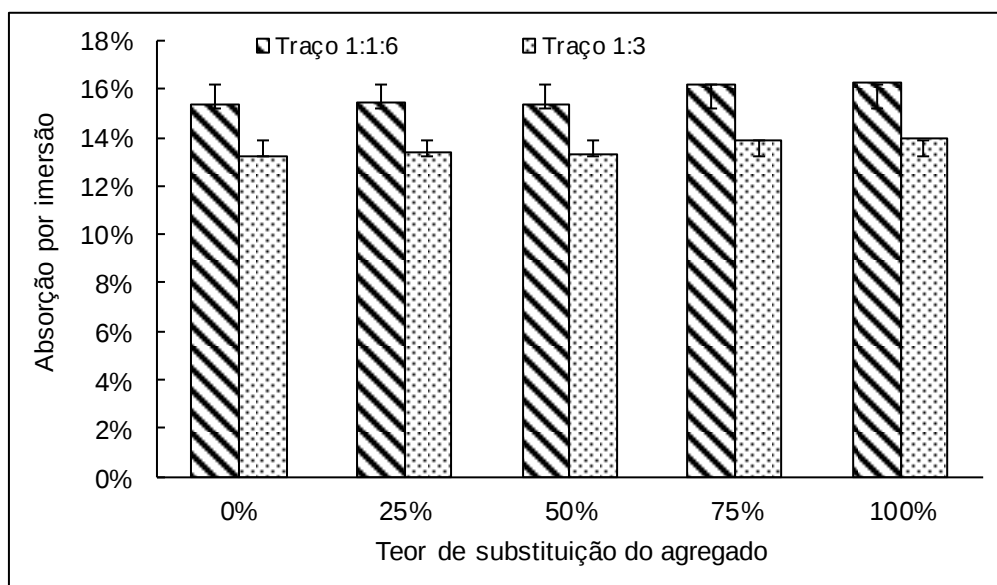


Figura 4.13 – Resultado do ensaio de Absorção de água por imersão aos 28 dias.
Fonte: Autoria própria, 2016.

Silva, N., Silva, G. e Gleize, P. (2013) em sua pesquisa sobre argamassa de revestimento utilizando areia residual proveniente da produção de minérios encontrou resultados semelhantes aos desta pesquisa. Suas argamassas produzidas com resíduo apresentaram maior absorção de água que a argamassa de referência, pois apresentou maiores índices de vazios.

4.3.5 Absorção de água por capilaridade e Coeficiente de capilaridade

Os resultados obtidos neste ensaio constam na Tabela 4.13 e Figura 4.14 abaixo.

Tabela 4.13 – Resultado do ensaio de Absorção de água por capilaridade aos 28 dias.

Traço	Teor de substituição	A ₁₀ (g/cm ²)	A ₉₀ (g/cm ²)	C (g/dm ² .min ^{1/2})
1:1:6	0%	0,67	1,56	14,23
	25%	0,71	1,66	15,17
	50%	0,66	1,59	14,83
	75%	0,79	1,91	17,93
	100%	0,79	1,90	17,80
1:3	0%	0,29	0,72	6,97
	25%	0,36	0,85	7,77
	50%	0,31	0,68	5,93
	75%	0,38	0,85	7,50
	100%	0,36	0,80	7,03

Fonte: Autoria própria, 2016.

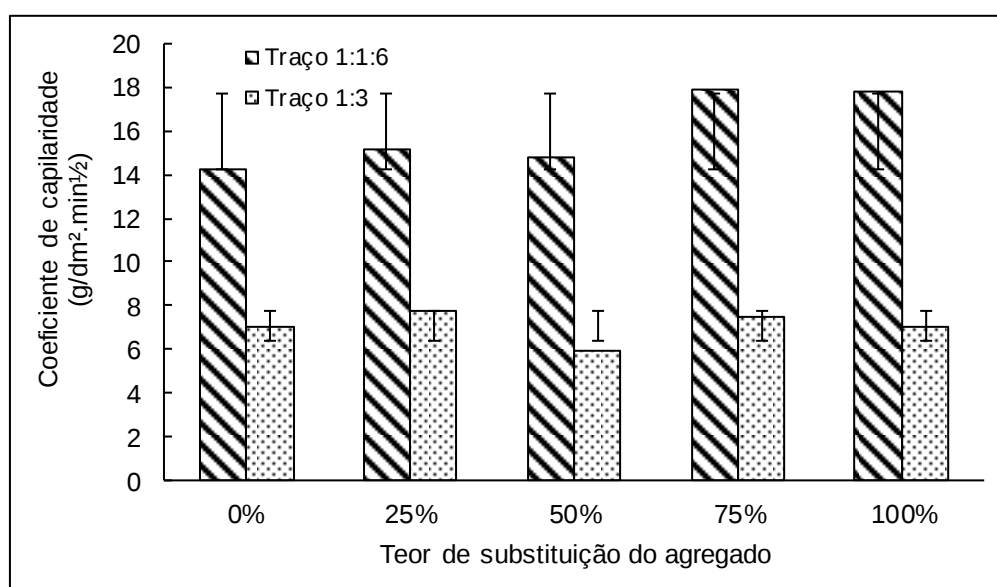


Figura 4.14 – Resultado do ensaio de Absorção de água por capilaridade aos 28 dias.

Fonte: Autoria própria, 2016.

Os ensaios de absorção por capilaridade mostraram que as argamassas que mais absorveram água, tanto aos 10min quanto aos 90min foram as argamassas de traço 1:1:6, fabricadas com cimento e cal. A diferença do uso do aglomerante foi significativa, sendo que as argamassas de cal e cimento tiveram absorção aos 10min próxima a das argamassas de cimento aos 90min, como pode-se observar na Tabela 4.14. Observa-se uma tendência crescente a partir da argamassa de referência para ambos os traços, porém a absorção sobe para as amostras com 25% de substituição do agregado e decrescem aos 50% de substituição, como mostra a Figura 4.14.

Silva, N., Silva, G. e Gleize, P. (2013) investigaram as propriedades das argamassas de revestimento fabricadas com areia residual proveniente da produção de minérios. As argamassas com areia de resíduo apresentaram coeficientes de capilaridade superiores à argamassa de referência. Segundo os autores, as argamassas produzidas com resíduo, além de apresentar maior absorção de água são, também, mais susceptíveis a penetração da água que a argamassa de referência. Ainda segundo os autores, este comportamento pode ser explicado pela “Lei de Jurin” que relaciona a ascensão capilar da água nos corpos de provas ao inverso dos raios capilares que, possivelmente, são menores devido ao menor diâmetro dos grãos da areia de resíduo em relação à areia da argamassa de referência. Fato semelhante ao que ocorreu no experimento realizado nesta pesquisa, visto que o resíduo natural grosso possui maior teor de finos que a areia natural, ou seja, maior número de grãos com menor raio capilar que a areia natural, favorecendo a ascensão capilar.

Pivotto e Abreu (2015) em sua pesquisa sobre areia de rejeito basáltico para produção de argamassas verificaram que as argamassas com areia de rejeito possuíam um aumento do coeficiente de capilaridade. Os autores relataram que este comportamento ocorre devido à maior rugosidade dos grãos do resíduo. Assim, a água introduzida na mistura para a manutenção da trabalhabilidade tende se concentrar em maior quantidade no entorno dos grãos e o aumento da relação água/cimento na zona de transição entre a pasta e agregado compromete a porosidade, aumentando-a.

Fontes *et al* (2016) em seu estudo sobre argamassas para assentamento e revestimento produzidas com rejeitos de minério de ferro a partir de represas de

decantação, constataram que as argamassas fabricadas com o rejeito apresentaram maior absorção de água por capilaridade que as argamassas convencionais. Os autores relataram que este comportamento ocorre em função do teor de ar inferior nestas argamassas, uma vez que uma estrutura de poros bem distribuída impede a entrada de água pelos canais capilares. Fato semelhante ocorreu nesta pesquisa, visto que as argamassas produzidas com o resíduo apresentaram menor teor de ar incorporado que as argamassas de referência.

4.3.6 Módulo de elasticidade dinâmico

O ensaio para determinação do módulo de elasticidade dinâmico das argamassas foi realizado aos 28 dias e os valores dos resultados são apresentados na Tabela 4.14 e Figura 4.15.

Tabela 4.14 – Resultado do Módulo de Elasticidade Dinâmico aos 28 dias.

Traço	Teor de substituição	Módulo de Elasticidade Dinâmico (MPa)
1:1:6	0%	6.358
	25%	6.890
	50%	7.210
	75%	8.449
	100%	8.765
1:3	0%	9.432
	25%	9.831
	50%	9.238
	75%	10.055
	100%	10.149

Fonte: Autoria própria, 2016.

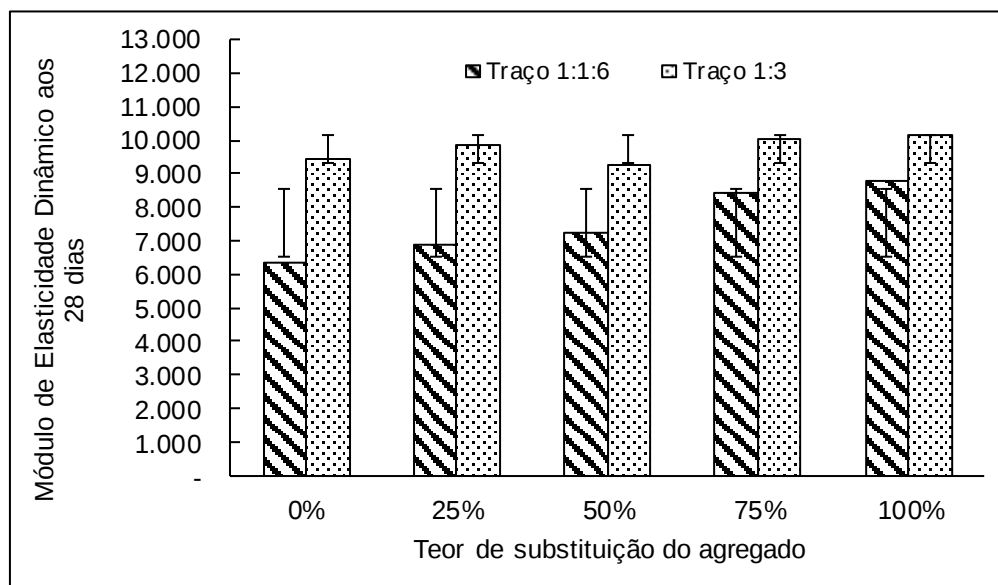


Figura 4.15 – Resultado do Módulo de Elasticidade Dinâmica aos 28 dias.
Fonte: Autoria própria, 2016.

O módulo de elasticidade dinâmico das argamassas seguiu a tendência esperada a partir dos resultados dos ensaios de densidade de massa no estado endurecido e resistência mecânica à compressão e tração. Onde se obteve valores maiores para as argamassas fabricadas com resíduo em relação às argamassas de referência. Além disso, para todos os teores de substituição do agregado, as argamassas de cimento (1:3) apresentaram valores de módulo de elasticidade dinâmico superior as argamassas de cimento e cal (1:1:6).

Segundo Heineck e Kazmierczak (2013), um módulo de elasticidade dinâmico muito alto pode resultar em argamassas muito rígidas, o que está diretamente relacionado com uma maior fissuração da argamassa. Por outro lado, a redução no módulo de elasticidade dinâmico, se não excessiva, permite uma melhor acomodação das tensões e reduz a tendência à fissuração em revestimentos de argamassa. Porém, o módulo de elasticidade não deve ser excessivamente baixo, senão as deformações do suporte podem danificar o próprio revestimento.

Matias, Torres e Faria (2013) analisaram as propriedades das argamassas de cal hidráulica com incorporação de resíduos cerâmicos e puderam constatar um comportamento similar ao obtido nesta pesquisa. Em seu trabalho, todas as argamassas estudadas apresentaram melhor desempenho que a argamassa de referência, o que indica alguma reatividade pozolânica do resíduo utilizado. A evolução do módulo de elasticidade dinâmico foi muito semelhante à das

resistências mecânicas à flexão e compressão. As argamassas com maior teor de substituição do agregado natural pelo resíduo foram as que obtiveram um módulo de elasticidade maior, e todas as argamassas apresentaram módulos de elasticidade dinâmicos superiores aos das argamassas de referência.

Farinha, Brito e Veiga (2015) estudaram a incorporação de agregados finos de louças sanitárias em argamassas de revestimento. Os autores também obtiveram melhores resistências mecânicas e módulos de elasticidade dinâmicos do que a argamassa de referência. Segundo os autores, estes resultados são provenientes do efeito de enchimento causado pelos agregados finos das louças sanitárias e pelo possível potencial pozolânico destes resíduos. Porém, um maior módulo de elasticidade, ainda segundo os autores, pode significar que a argamassa tem mais dificuldade em acomodar suas deformações e é mais suscetível a rachaduras.

O ensaio para determinação do módulo de elasticidade dinâmico das argamassas desta pesquisa obteve resultados próximos aos resultados encontrados na literatura científica a respeito de argamassas de revestimento, como pode ser observado em Bastos *et al* (2010) e em Silva e Campiteli (2006) que estudam o módulo de elasticidade dinâmico das argamassas de revestimento.

5 Conclusão

Após a realização dos ensaios previstos para esta pesquisa e análise dos resultados, fundamentando-se na literatura científica mais recente e abrangente sobre utilização de resíduos minerais para produção de argamassas de revestimento, é possível extrair as seguintes conclusões:

-O resíduo natural da scheelita, em sua granulometria maior, que foi a utilizada para a produção das argamassas desta pesquisa, possui uma distribuição granulométrica muito próxima da areia natural utilizada para a construção civil na região. Apresentando ainda uma quantidade maior de finos e uma massa específica superior a areia natural, o que ocasionou numa melhoria de algumas das propriedades das argamassas estudadas, como as resistências mecânicas e módulos de elasticidade dinâmicos.

-As análises por Fluorescência de raios-X (FRX) e Difração de raios-X (DRX) demonstram que há uma propensão para que o resíduo se comporte como material pozolânico devido a predominância de Óxido de Cálcio, Dióxido de Silício, Óxido de Ferro e Óxido de Alumínio em sua composição. Porém não atinge os parâmetros mínimos segundo a NBR 12653 (2014), para que seja classificado como material pozolânico e a sílica observada através da análise por Difração de raios-X (DRX) possui estrutura cristalina, impedindo que o material tenha comportamento pozolânico. Porém esses quatro principais componentes são os mesmos componentes da matéria-prima do cimento Portland, o que sugere que algum processo de queima ou beneficiamento possa originar um aglomerante hidráulico.

-No estado fresco, as argamassas apresentaram uma pequena melhoria na retenção de água, garantindo sua capacidade de reter a água de amassamento contra a sucção da base ou contra a evaporação. A densidade de massa apresentou resultados maiores e o teor de ar incorporado, menores em relação à argamassa de referência. O que representaria uma perda na trabalhabilidade da argamassa fabricada com resíduo da scheelita, que foi compensada pelo maior teor de finos que contém o resíduo natural grosso em relação a areia natural utilizada na pesquisa.

-No estado endurecido, as resistências mecânicas apresentaram-se maiores que na argamassa de referência. Tanto para os ensaios de resistência à compressão quanto para os de resistência à tração. Este comportamento demonstra

alguma reatividade pozolânica do resíduo utilizado mesmo que baixa. E os melhores resultados foram para as argamassas com 100% de substituição do agregado natural pelo resíduo. Havendo um destaque maior para as argamassas fabricadas com traço de 1:3. A densidade de massa no estado endurecido manteve o padrão dos resultados da densidade de massa no estado fresco. Os resultados da absorção de água tanto por imersão, quanto por capilaridade, foram predominantemente maiores que a argamassa de referência, porém a diferença foi pouco significativa. Já os resultados sobre o módulo de elasticidade dinâmico das argamassas refletem também um possível potencial pozolânico destes resíduos, e foi possível constatar que os seus resultados são próximos aos resultados sobre módulos de elasticidade dinâmicos em argamassas de revestimento encontrados na literatura científica.

Considerando todos os resultados obtidos, observa-se que o resíduo apresenta uma propensão pozolânica que pode ser estimulada com o processo de queima, porém seria necessário um estudo sobre a viabilidade econômica deste procedimento. Observa-se ainda que alguns resultados encontrados nesta pesquisa, como a densidade de massa no estado fresco e no estado endurecido mostraram-se desfavoráveis ao desempenho das argamassas produzidas com resíduo, pois denotaram argamassas mais densas e com menor trabalhabilidade que foi compensada devido o resíduo natural grosso possuir maior teor de finos que a areia. No entanto, é possível afirmar que o resíduo proveniente da extração da scheelita é apropriado para utilização na fabricação de argamassas de revestimento convencionais.

6 Sugestões para trabalhos futuros

Realizar os ensaios de aderência (ABNT NBR 13528:2010 - Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração) com as formulações estudadas e em condições ambientais variadas.

Realizar algum processo de queima do resíduo para avaliar quimicamente seu comportamento e sua viabilidade econômica.

Realizar uma aplicação com mão-de-obra especializada (pedreiro) e obter uma análise qualitativa e de durabilidade do revestimento.

7 Referências

- AMBROZEWICZ, P.H.L. **Materiais de Construção**. São Paulo: Pini, 2012.
- ANDRADE, C.; BUJÁK, R. **Effects of some mineral additions to Portland cement on reinforcement corrosion**. Cement and Concrete Research, v. 53, p. 59-67, 2013.
- ANJOS, M.A.S. **Adição do resíduo de biomassa da cana-de-açúcar em pastas para cimentação de poços petrolíferos produtores de óleos pesados**. 2009. Tese de Doutorado. UFRN.
- ARGANE, R. *et al.* **Reuse of base-metal tailings as aggregates for rendering mortars: Assessment of immobilization performances and environmental behavior**. Construction and Building Materials, v. 96, p. 296-306, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11579**: Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200). Rio de Janeiro, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653**: Materiais pozolânicos — Requisitos. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e teto- Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13277**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e teto- Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e teto- Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e teto- Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão axial. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13280**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e teto- Determinação da densidade de massa aparente em estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281**: Argamassa de Assentamento e Revestimento de paredes e Teto- Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13529**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Terminologia. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15259**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e teto- Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15630** - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sônica. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5751**: Materiais pozolânicos - Determinação da atividade pozolânica com cal aos sete dias. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5752**: Materiais pozolânicos — Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7214**: Areia normal para ensaio de cimento - Especificação. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS ENTIDADES DE PRODUTORES DE AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO (**ANEPAC**). Disponível em:< <http://www.anepac.org.br> >. Acesso em: 12 out. 2015.

BAÍÁ, L.L.; SABBATINI, F.H. **Projeto e execução de revestimento de argamassa. Coleção primeiros passos da qualidade no canteiro de obras**. 1. ed. São Paulo: O Nome da Rosa, 2000. 82 p.

BASTOS, P.K.X. *et al.* **Estudo do módulo de elasticidade de argamassas de revestimento sujeitas à sucção de água pela base**. Congresso Português de Argamassas de Construção. 2010. Lisboa/Portugal.

CARASEK, H. Argamassa. In: **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. Vol 2, 2. ed atualizada e ampliada. São Paulo: IBRACON, 2010.

CAVALCANTI, L.M.A.; RIBEIRO, D.V. **Análises físicas e mecânicas de argamassas de cimento portland com areia contendo cinzas da queima do bagaço de cana-de-açúcar como agregado miúdo**. X Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. 2013. Fortaleza/CE.

CHEAH, C.B.; RAMLI, M. **Mechanical strength, durability and drying shrinkage of structural mortar containing HCWA as partial replacement of cement**. Construction and Building Materials, v. 30, p. 320-329, 2012.

CINCOTTO, M.A.; KAUPATEZ, R.Z. **Seleção de materiais quanto à atividade pozolânica**. In: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. Tecnologia de edificações. São Paulo: Pini, 1988. p.23-26.

DYER, P.P.O.L. **A utilização de resíduos de pet poli (tereftalato de etileno) como agregado em argamassa**. 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2009. Recife/PE.

FAJARDO, L. **O declínio da mineração e seu legado na América Latina**. BBC Mundo. Disponível em: <<http://www.bbc.com/portuguese/noticias>>. Acesso em: 18 out. 2015.

FARINHA, C.; BRITO, J.; VEIGA, R. **Incorporation of fine sanitary ware aggregates in coating mortars**. Construction and Building Materials, v. 83, p. 194-206, 2015.

FONTES, W.C. *et al.* **Mortars for laying and coating produced with iron ore tailings from tailing dams**. Construction and Building Materials, v. 112, p. 988-995, 2016.

FONTES, W.C. *et al.* **Utilização de rejeito de barragem de minério de ferro como agregado reciclado para argamassas**. X Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. 2013. Fortaleza/CE.

GERAB, A.T. **Utilização do resíduo grosso do beneficiamento da scheelita em aplicações rodoviárias**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Natal/RN, 2014.

GUACELLI, P.A.G.; RISSON, K.D.B.S.; CARBONARI, B.M.T. **Substituição de areia de extração por areia de britagem para argamassa de revestimento**. XI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. 2015. Porto Alegre/RS.

HAWLITSCHKE, G. *et al.* **Estudo da influência de areias recicladas a partir de resíduos de construção e demolição (rcd) em argamassas**. X Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. 2013. Fortaleza/CE.

HEINECK, S.; KAZMIERCZAK, C.S. **Argamassas de revestimento com incorporação de agregado miúdo da britagem de concreto**. X Simpósio

Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. 2013. Fortaleza/CE.

HIGASHIYAMA, H. *et al.* **Chloride ion penetration into mortar containing ceramic waste aggregate.** Construction and Building Materials, v. 33, p. 48-54, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO - IBRAM. (2014). **II Inventário de Gases Efeito Estufa do Setor Mineral.** Brasília/DF: Instituto Brasileiro de Mineração - IBRAM.

ISAIA, Geraldo C. *et al.* **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** 2.v. São Paulo: Ibracon, 2007.

MALTA, J.V.; SILVA, V.S.; GONÇALVES, J.P. **Argamassa contendo agregado miúdo reciclado de resíduo de construção e demolição.** Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais, v. 1, n. 2, p. 176-188, 2013.

MATIAS, G.; TORRES, I.; FARIA, P. **Argamassas de cal hidráulica natural com incorporação de resíduos cerâmicos.** X Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. 2013. Fortaleza/CE.

MATOS, A.M.; SOUSA-COUTINHO, J. **Durability of mortar using waste glass powder as cement replacement.** Construction and Building Materials, v. 36, p. 205-215, 2012.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: PINI, 1994.

MINERAÇÃO TOMAZ SALUSTINO S.A. Disponível em:< <http://minabrejui.com.br/site/> >. Acesso em: 25 set. 2015.

MUÑOZ-RUIPEREZ, C. *et al.* **Lightweight masonry mortars made with expanded clay and recycled aggregates.** Construction and Building Materials, v. 118, p. 139-145, 2016.

NACERI, A.; HAMINA, M.C. **Use of waste brick as a partial replacement of cement in mortar.** Waste management, v. 29, n. 8, p. 2378-2384, 2009.

O'FARRELL, M.; SABIR, B.B.; WILD, S. **Strength and chemical resistance of mortars containing brick manufacturing clays subjected to different treatments.** Cement and Concrete Composites, v. 28, n. 9, p. 790-799, 2006.

O'FARRELL, M.; WILD, S.; SABIR, B.B. **Pore size distribution and compressive strength of waste clay brick mortar.** Cement and Concrete Composites, v. 23, n. 1, p. 81-91, 2001.

OKADA, E.M. *et al.* **Produção de argamassa aditivada com resíduo de fibra de vidro pós – processada.** X Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. 2013. Fortaleza/CE.

OUDA, A.S.; ABDEL-GAWWAD, H.A. **The effect of replacing sand by iron slag on physical, mechanical and radiological properties of cement mortar.** HBRC Journal, 2015.

PAIVA, E.H.G. **Avaliação do concreto de cimento Portland com resíduo da produção de scheelita em substituição ao agregado miúdo.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Natal/RN, 2013.

PALOMAR, I.; BARLUENGA, G.; PUENTES, J. **Lime–cement mortars for coating with improved thermal and acoustic performance.** Construction and Building Materials, v. 75, p. 306-314, 2015.

PEREIRA-DE-OLIVEIRA, L.A.; CASTRO-GOMES, J.P.; SANTOS, P.M.S. **The potential pozzolanic activity of glass and red-clay ceramic waste as cement mortars components.** Construction and Building Materials, v. 31, p. 197-203, 2012.

PETRUCCI, E.G.R. **Materiais de construção.** 11. ed. São Paulo: Globo, 1998. 435 p

PIVOTTO, E.; ABREU, A.G. **Estudo de areia de rejeito basáltico para produção de argamassas.** XI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. 2015. Porto Alegre/RS.

RAMOS, F.M.; POLISSENI, A.E.; FREESZ, J.S. **Gestão ambiental da escória de aciaria.** Portal Met@lica. Fonte: <http://www.metalica.com.br/gestao-ambiental-da-escoria-de-aciaria>. 2014.

SAMPAIO, C.H.; TAVARES, L.M.M. **Beneficiamento Gravimétrico: uma introdução aos processos de concentração mineral e reciclagem de materiais por densidade.** Editora da UFRGS, 2005.

SANTAMARÍA-VICARIO, I. *et al.* **Design of masonry mortars fabricated concurrently with different steel slag aggregates.** Construction and Building Materials, v. 95, p. 197-206, 2015.

SANTAMARÍA-VICARIO, I. *et al.* **Durability behavior of steelmaking slag masonry mortars.** Materials & Design, v. 97, p. 307-315, 2016.

SILVA, E.C.R.; CARNEIRO, A.M.P. **Efeitos da utilização de resíduos de construção em pastas à base de cimento e cal.** X Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. 2013. Fortaleza/CE.

SILVA, N.G.; CAMPITELI, V.C. **Módulo de elasticidade dinâmico de argamassa de revestimento.** II Encontro de Engenharia e Tecnologia dos Campos Gerais. 2006. Ponta Grossa/PR.

SILVA, N.S.; SILVA, G.G.; GLEIZE, P.J.P. **Argamassa de revestimento utilizando areia residual proveniente da produção de minérios.** X Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. 2013. Fortaleza/CE.

TAN, K.H.; DU, H. **Use of waste glass as sand in mortar: Part I–Fresh,**

mechanical and durability properties. Cement and Concrete Composites, v. 35, n. 1, p. 109-117, 2013.

VIEIRA, A.A.P. **Estudo do aproveitamento de resíduos de cerâmica vermelha como substituição pozolânica em argamassas e concretos.** 2005. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. Universidade Federal da Paraíba.

XU, S. *et al.* **Study of natural hydraulic lime-based mortars prepared with masonry waste powder as aggregate and diatomite/fly ash as mineral admixtures.** Journal of Cleaner Production, v. 119, p. 118-127, 2016.

ZHAO, H.; POON, C.S.; LING, T.C. **Utilizing recycled cathode ray tube funnel glass sand as river sand replacement in the high-density concrete.** Journal of Cleaner Production, v. 51, p. 184-190, 2013.